

**Universidade Nova de Lisboa**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

# **Monitorização da Qualidade do Ar na Envolvente de Indústrias Cimenteiras**

## **Caso de Estudo da Fábrica SECIL-Outão**

Rui Pedro Gonçalves Araújo

Dissertação Apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais

Orientador: Prof. Doutor Francisco Ferreira

Lisboa

2008



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço e dedico todo este trabalho aos meus pais e à Luciana Macedo, por todo o apoio que me deram.

Agradeço ao Prof. Doutor Francisco Ferreira pela orientação, pela disponibilidade e empenho na revisão deste mestrado.

Agradeço também à SECIL-Outão e, em particular ao Prof. José Palma e à Eng.<sup>a</sup> Maria João Botelho, pelo interesse demonstrado neste tema, e por toda a informação fornecida, que foi fundamental para a realização deste trabalho.





## RESUMO

A monitorização da qualidade do ar revela-se fundamental na gestão do recurso ar. Este trabalho teve como objectivo avaliar a resposta de uma rede de monitorização de qualidade do ar (RMQA) às emissões atmosféricas geradas por uma fonte de poluição pontual próxima, recorrendo a técnicas estatísticas de tratamento de dados. O caso de estudo foi a cimenteira SECIL-Outão e respectiva RMQA, que se insere numa região complexa em termos orográficos e meteorológicos. A avaliação foi realizada com base nos registos de Maio de 2006 a Maio de 2007, das emissões e concentrações dos poluentes  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ . Foram realizadas análises de correlação entre as estações da RMQA e entre estas e as emissões da fábrica SECIL-Outão e da Central Termoeléctrica de Setúbal (CTS). Os resultados apontam para a existência de correlações elevadas entre as estações para o poluente partículas  $\text{PM}_{10}$ , sendo tal provavelmente resultado da poluição de fundo. Não se verificou qualquer correlação entre as emissões daquelas duas fontes pontuais e as estações. Foram realizadas análises de variância a um-factor (ANOVA), verificando-se que nenhuma das estações de monitorização está a detectar o efeito das emissões da fábrica SECIL-Outão. Apenas as estações Tróia e S. Filipe detectam, com 95% de confiança, o  $\text{NO}_x$  emitido pela CTS.

## ABSTRACT

Air quality monitoring is very important to air resource management. This work had as an objective to evaluate the response of an air quality monitoring network (AQMN) to the atmospheric emissions generated by a nearby point source pollution, using statistical techniques for data analysis. The case study was the SECIL-Outão cement plant and its own AQMN, located in a complex orographic and meteorological region. The evaluation was based on registers dated from May 2006 to May 2007, focusing on the emissions and concentrations of polluting agents  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  and  $\text{PM}_{10}$ . Correlation analysis between the AQMN stations were carried out, as well as between these and the SECIL-Outão cement plant and the Setúbal Thermo-electric station (STS). The results only point to the existence of an high correlation between the AQMN stations and particles  $\text{PM}_{10}$ , this probably being a result of the underlying pollution. No correlation was found between the emissions of those two point source pollution and the stations. One-factor analyses of variance (ANOVA) were carried out and the results pointed to the fact that monitoring stations are not detecting the effect of the emissions from the SECIL-Outão plant. Only the stations of Tróia and S. Filipe are detecting, with a 95% confidence ratio, the  $\text{NO}_x$  emitted by STS.

## SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

AC	Análise de Clusters
ACP	Análise de Componentes Principais
AHC	Análise Hierárquica de Clusters
ANOVA	Análise de Variância
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CCDR	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
CE	Comunidade Europeia
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CTS	Central Termoelétrica de Setúbal
DCEA	Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente
DGA	Direcção Geral do Ambiente
FCPFE	Funções de Contribuição Potencial de cada Fonte de Emissão
FCT/UNL	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
FPC	Funções de Probabilidade Condicional
IA	Instituto do Ambiente
INMG	Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
MFP	Matriz de Factorização Positiva
MTD	Melhor Técnica Disponível
NO	Monóxido de Azoto
NO <sub>2</sub>	Dióxido de Azoto
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Azoto
NUT	Nomenclatura das Unidades Territoriais
O <sub>3</sub>	Ozono
PAN	Peroxiacil nitrato
PCB	Bifenílos Policlorados
PM <sub>10</sub>	Partículas com diâmetro médio inferior a 10 µm
PTS	Partículas Totais em Suspensão
PS	Partículas em Suspensão
RLVT	Região de Lisboa e Vale do Tejo
RMQA	Rede de Monitorização da Qualidade do Ar
RNP	Regressões Não-Paramétricas
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Enxofre
USEPA	United States Environmental Protection Agency



## ÍNDICE DE MATÉRIAS

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVO E ÂMBITO	3
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
<b>2. QUALIDADE DO AR EM ZONAS INDUSTRIAIS</b>	<b>7</b>
2.1. FONTE DE POLUIÇÃO EM ANÁLISE – PRINCIPAIS EFEITOS NA QUALIDADE DO AR	8
2.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM ESTUDO – SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> E PM <sub>10</sub>	11
2.3. MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM ZONAS INDUSTRIAIS	23
2.4. INFLUÊNCIA DE FENÓMENOS NATURAIS NA QUALIDADE DO AR	28
2.5. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE CADA FONTE DE POLUIÇÃO NO ESTADO DE QUALIDADE DO AR	34
<b>3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO</b>	<b>41</b>
3.1. DESCRIÇÃO DA UNIDADE INDUSTRIAL EM ESTUDO SECIL-OUTÃO	41
3.1.1. LOCALIZAÇÃO	41
3.1.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CIMENTO	42
3.1.3. PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS E PRODUZIDOS	49
3.1.4. PRINCIPAIS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	50
3.2. PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EXISTENTES NA ZONA EM ESTUDO	53
3.3. REDES DE MONITORIZAÇÃO EM ESTUDO	61
3.3.1. REDE DE MONITORIZAÇÃO DA FÁBRICA SECIL – OUTÃO	3-65
3.3.2. REDE DE MONITORIZAÇÃO DA CTS E DA CC DR-LVT	3-69
3.4. DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS	3-70
3.4.1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E METEOROLÓGICA	75
3.4.2. DISPERSÃO ATMOSFÉRICA SEGUNDO O MODELO MATEMÁTICO APLICADO ÀS EMISSÕES DO COMPLEXO FABRIL DA SECIL-OUTÃO	89
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>91</b>
4.1. ANÁLISE PRELIMINAR	92
4.1.1. ANÁLISE DOS VALORES MÉDIOS E DOS DESVIOS-PADRÃO	92
4.1.2. ANÁLISE DOS VALORES MÉDIOS PARA TRÊS CLASSES DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA	93
4.1.3. ANÁLISE DE ROSAS DE POLUIÇÃO	93
4.2. ANÁLISE DETALHADA	95
4.2.1. ANÁLISE DE CORRELAÇÕES	95
4.2.2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA	97
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>103</b>
5.1. ANÁLISE PRELIMINAR	104

5.1.1. ANÁLISE DOS VALORES MÉDIOS E DOS DESVIOS-PADRÃO	104
5.1.2. ANÁLISE DOS VALORES MÉDIOS PARA TRÊS CLASSES DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA	109
5.1.3. ANÁLISE DE ROSAS DE POLUIÇÃO	114
<b>5.2. ANÁLISE DETALHADA</b>	<b>118</b>
5.2.1. ANÁLISE DE CORRELAÇÕES	118
5.2.2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA	121
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>131</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>135</b>
APÊNDICE I – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICO DA SECIL-OUTÃO	137
APÊNDICE II – MATRIZ DE CLASSES DE ESTABILIDADE	139
APÊNDICE III – VALORES MÉDIOS E DESVIOS-PADRÃO DAS CONCENTRAÇÃO DE CADA POLUENTE CONSIDERADO	141
APÊNDICE IV – ROSAS DE POLUIÇÃO	143
APÊNDICE V – VALORES ESTATÍSTICOS DAS CORRELAÇÕES	153
APÊNDICE VI – RESULTADOS ANOVA	157

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 – Emissões teóricas e medidas de NO <sub>x</sub> por quilograma de cimento produzido. A vermelho são indicados os tipos de cimento que são produzidos na Fábrica SECIL-Outão.	9
Figura 2-2 – Emissões teóricas e medidas de SO <sub>2</sub> por quilograma de cimento produzido. A vermelho são indicados os tipos de cimento que são produzidos na Fábrica SECIL-Outão.	10
Figura 2-3 – Emissões de SO <sub>x</sub> em Portugal por sector de actividade.	12
Figura 2-4 – Ciclo dos compostos azotados.	16
Figura 2-5 – Emissões de NO <sub>x</sub> em Portugal por sector de actividade no ano de 2003.	18
Figura 2-6 – Emissões de PM <sub>10</sub> em Portugal por sector de actividade.	21
Figura 2-7 – Distribuição relativa de cada poluente por categoria de fonte de poluição.	23
Figura 2-8 – Perfil tipo de concentração dos poluentes à superfície do solo, após emitidos pela fonte de poluição.	26
Figura 2-9 – Perfis de concentração dos poluentes NO <sub>x</sub> (a) e de SO <sub>2</sub> (b) à superfície do solo., respectivamente.	26
Figura 2-10 – Média sazonal de TOMS AI (×10) (1980–1992) para o período de (a) Novembro–Janeiro e de (b) Maio–Julho.	30
Figura 2-11 – Secções regionais e estações representativas utilizadas para a quantificação da contribuição de eventos naturais no território continental.	32
Figura 2-12 – Imagem do Satélite Terra obtida dia 7 Agosto de 2006, ampliada para a região do Porto Litoral.	34
Figura 2-13 – Apresentação gráfica dos resultados obtidos com as FPC.	36
Figura 2-14 – Apresentação gráfica dos resultados obtidos com as FCPF para cinco estações de monitorização e da combinação desses mesmos resultados.	37
Figura 3-1 – Localização da Fábrica SECIL - Outão.	41
Figura 3-2 – Altimetria da região em estudo.	42
Figura 3-3 – Esquema do forno rotativo com pré-aquecimento, evidenciando as temperaturas ao longo do processo de cozedura, dos fornos da Fábrica SECIL-Outão.	46
Figura 3-4 – Electrofiltros dos fornos 8 e 9.	51
Figura 3-5 – Filtro de mangas dos fornos 8 e 9.	51
Figura 3-6 – Emissões das fontes estacionárias estimadas a partir da informação recolhida no âmbito do “Inventário de Emissões Atmosféricas da Região de Lisboa e Vale do Tejo. 2000 – 2001”.	55
Figura 3-7 – Principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos existentes na região em estudo.	58
Figura 3-8– Emissões de SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e PM <sub>10</sub> por concelho da RLVT (emissões por unidade de área).	59
Figura 3-9 – Emissões de SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e PM <sub>10</sub> por sector de actividade.	60
Figura 3-10 – Localização das RMQA e das respectivas estações de monitorização.	62
Figura 3-11 – Locais de amostragem de SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> e de Benzeno.	3-66
Figura 3-12 – Locais de amostragem de partículas (PM <sub>10</sub> ).	3-66
Figura 3-13 – Localização das Estações Climatológicas consideradas.	3-72
Figura 3-14 – Localização das Estações Meteorológicas e de Qualidade do Ar consideradas.	3-74
Figura 3-15 – Temperatura Média Mensal registada nas estações climatológicas de Setúbal e de Setúbal/SETNAVE	77
Figura 3-16 – Precipitação Média Mensal registada nas estações climatológicas de Setúbal e de Setúbal/SETNAVE.	78

Figura 3-17 – Valores médios de velocidade e de frequência dos ventos registados na Estação Meteorológica de Setúbal.	80
Figura 3-18 – Valores médios de velocidade e de frequência dos ventos registados na Estação Meteorológica de Setúbal / SETENAVE.	81
Figura 3-19 – Valores de velocidade e frequência dos ventos registados na Estação Meteorológica de Setúbal.	82
Figura 3-20 – Rosas do Vento elaboradas com base nos registos de frequência (%) e de velocidade (m/s) registados nas EMQA e nas estações meteorológicas da Fábrica da SECIL-Outão e da CTS.	85
Figura 3-21 – Perfil horário das velocidades (m/s) dos vento registados nas EMQA e nas estações meteorológicas da fábrica SECIL – Outão e da CTS.	87
Figura 3-22 – Perfil horário das direcções (graus) dos vento registados nas EMQA e nas estações meteorológicas da fábrica SECIL – Outão e da CTS.	89
Figura 3-23 – Campo estimado das concentrações máximas horárias de NO <sub>2</sub> verificadas para o ano de 2004 na envolvente do complexo fabril SECIL-Outão: com topografia (esquerda) e sem topografia (direita).	90
Figura 4-1 – Metodologia geral seguida no presente trabalho.	91
Figura 4-2 – Exemplo de uma rosa de poluição para o poluente SO <sub>2</sub> .	94
Figura 4-3 – Teste de hipóteses realizado na ANOVA.	97
Figura 4-4 – Intervalos da rosa-dos-ventos que foram considerados para cada EMQA para seleccionar os registos a submeter à ANOVA.	101
Figura 4-5 – Intervalos da rosa-dos-ventos que foram considerados para as EMQA S. Filipe e Tróia, para seleccionar os registos a submeter à ANOVA.	102
Figura 5-1 – Diagrama de carga da fábrica SECIL-Outão no período considerado.	103
Figura 5-2 – Número de dias em que se registou um funcionamento compreendido entre 0 e 24%, entre 25% e 49%, entre 50% e 74% e entre 75% e 100%.	104
Figura 5-3 – Média e desvio-padrão dos valores de concentração de SO <sub>2</sub> registados nas EMQA consideradas.	105
Figura 5-4 – Média e desvio-padrão dos valores de concentração de NO <sub>x</sub> registados nas EMQA consideradas.	106
Figura 5-5 – Média e desvio-padrão dos valores de concentração de PM <sub>10</sub> registados nas EMQA consideradas.	108
Figura 5-6 – Frequência das classes de estabilidade da atmosfera no período considerado.	110
Figura 5-7 – Perfil horário (24h) da frequência média das classes de estabilidade da atmosfera ao longo dos dias do período considerado.	111
Figura 5-8 – Concentrações Médias de SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> e PM <sub>10</sub> registados nas EMQA, durante a ocorrência das classes de estabilidade A, D e E ou F.	112
Figura 5-9 – Rosas de Poluição elaboradas a partir das concentrações médias dos poluentes considerados, registadas nas estações da RMQA da fábrica SECIL-Outão.	115
Figura 5-10 – Concentrações médias de SO <sub>2</sub> registados na estação Hospital Ortopédico do Outão, referentes aos níveis/grupos de emissões da SECIL-Outão considerados.	123
Figura 5-11 – Concentrações médias de SO <sub>2</sub> registados na estação S. Filipe, referentes aos níveis/grupos considerados para o funcionamento da CTS.	124
Figura 5-12 – Concentrações médias de NO <sub>x</sub> registados na estação Tróia, referentes aos níveis/grupos considerados para o funcionamento da CTS.	124
Figura 5-13 – Concentrações médias de NO <sub>x</sub> registados na estação S. Filipe, referentes aos níveis/grupos considerados para o funcionamento da CTS.	125



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2-1 – Datas de ocorrência dos episódios de intrusão de ar proveniente do Norte de África no ano de 2006. Fonte: APA (2006).	33
Quadro 3-1 – Energia Térmica consumida na Fábrica SECIL-Outão em 2005 e em 2006. Fonte: SECIL.	48
Quadro 3-2 – Quantidades das principais matérias-primas utilizados na Fábrica SECIL – Outão, entre 1 de Maio de 2006 e 30 de Abril de 2007. Fonte: SECIL.	49
Quadro 3-3 – Quantidades de clínquer e dos vários tipos de cimento produzidos entre 1 de Maio de 2006 e 30 de Abril de 2007. Fonte: SECIL.	50
Quadro 3-4 – Parâmetros medidos em contínuo e pontualmente aos efluentes provenientes dos Fornos 8 e 9, quando em operação de valorização energética de resíduos. Fonte: SECIL.	53
Quadro 3-5 – Redes e estações de monitorização da qualidade do ar consideradas, localização, classificação, poluentes medidos e períodos de registo.	64
Quadro 3-6 – Estações climatológicas consideradas.	3-71
Quadro 3-7 – Estações meteorológicas e de qualidade do ar consideradas.	3-73
Quadro 3-8 – Número de dias por ano e frequência anual registada na estação de Setúbal de cada uma das três classes de nebulosidade consideradas.	79
Quadro 3-9 – Resumo estatístico dos valores dos parâmetros meteorológicos, registados nas estações meteorológicas e de qualidade do ar da RMQA da SECIL – Outão e da CTS da EDP.	83
Quadro 4-1 – Intervalos de caudais de efluentes gasosos estabelecidos para os níveis/grupos considerados na ANOVA a um factor.	101
Quadro 4-2 – Intervalos de funcionamento estabelecidos para os níveis/grupos considerados na ANOVA a um factor.	102
Quadro 5-1 – Matriz de Correlação realizada entre as EMQA das RMQA consideradas, para o poluente NO <sub>x</sub> .	119
Quadro 5-2 – Matriz de Correlação realizada entre as EMQA da RMQA em estudo e as emissões da Fábrica SECIL – Outão e da CTS, para o poluente SO <sub>2</sub> .	121
Quadro 5-3 – Resultados obtidos com as ANOVAS realizadas para a fábrica SECIL-Outão e respectiva RMQA.	122
Quadro 5-4 – Resultados obtidos com as ANOVA realizadas para as estações da rede da CTS e EMQA Tróia e S. Filipe.	123



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. ENQUADRAMENTO

“What gets us into trouble is not what we don't know. It's what we know for sure that just ain't so”.

**Mark Twain**

É indiscutível afirmar que a invasão do mundo natural por parte do Homem e os prejuízos daí resultantes para os sistemas ecológicos, tem crescido de forma exponencial desde a época em que ocorreu a Revolução Industrial. Desde esse período que as sociedades se têm tornado cada vez mais exigentes e preocupadas em elevar os seus padrões de vida o que, de um modo geral, tem sido conseguido à custa da degradação e da exploração insustentada dos recursos naturais. No sentido de dar resposta a muitas dessas exigências, novas tecnologias, novos processos produtivos e novas indústrias têm sido desenvolvidas, no sentido da criação de novos produtos e serviços um pouco por todo o mundo, com destaque para as regiões ocidentais. A satisfação dessas exigências, que se reflectem na quantidade e na qualidade desses serviços e produtos, tem contribuído para um forte crescimento do tecido industrial. Por razões económicas, sociais e, mais recentemente, ambientais, este sector da economia tem vindo a concentrar a sua actividade em determinados locais do território.

Mesmo apesar de estarmos a viver numa época em que é claramente reconhecida a necessidade de salvaguardar o recurso natural ar (pois são cada vez mais os instrumentos legais que estabelecem os valores limite de emissão e os valores de referência de qualidade do ar), a crescente concentração da actividade industrial em determinadas zonas tem, frequentemente, resultado na degradação desse recurso. Os poluentes atmosféricos são emitidos por uma grande variedade de fontes de poluição, sendo posteriormente transportados e dispersados pela acção do vento na atmosfera. Por esse facto, a concentração dos poluentes na atmosfera varia no tempo e no espaço. A degradação do recurso ar, apesar de mais perceptível à escala local e regional, estende-se também à escala planetária, interferindo e desequilibrando os processos químicos e físicos que ocorrem na atmosfera. A poluição à escala local e regional resulta, mais frequentemente, em problemas relacionados com a saúde humana e com a destruição de diversos tipos de ecossistemas (por exemplo, através das chuvas ácidas). A poluição à escala global apenas foi detectada nas últimas décadas, e relaciona-se, principalmente, com o aumento da concentração na atmosfera de gases com efeito estufa e gases depletors da camada de ozono.

Para avaliar o nível de degradação do recurso ar num determinado local, esteja ele associado a um ambiente industrial, urbano ou mesmo rural, recorre-se normalmente à realização de medições da concentração de poluentes. Estas medições podem ser efectuadas recorrendo a estações móveis ou a estações fixas. Recorre-se às primeiras quando se pretende realizar campanhas de medição que sejam limitadas no tempo e no espaço, e recorre-se às segundas quando se pretende monitorizar, continuamente, o nível de poluição que ocorre num determinado local.

A monitorização da qualidade do ar desempenha, portanto, um papel extremamente importante na preservação e gestão do recurso ar. Permite o conhecimento do nível de poluição atmosférica que ocorre num determinado local, informação que é fundamental para desenvolver programas e para aplicar medidas que possam limitar os impactes, actuais e futuros, sobre a saúde humana e sobre o ambiente, decorrentes da contaminação atmosférica. Esse conhecimento fornece igualmente pistas importantes para a identificação das fontes de poluição atmosférica locais e remotas da área monitorizada.

Nas últimas décadas, tem sido crescente a importância dada aos problemas gerados pela poluição atmosférica. Tal importância tem conduzido ao desenvolvimento de diversos estudos e metodologias destinados a apoiar a tomada de decisão na escolha dos melhores locais para a instalação das redes de monitorização em zonas industriais, bem como para as tornar mais eficientes.

De acordo com Elkamel *et al.* (2007), os processos complexos que conduzem à dispersão dos poluentes obrigam a que seja realizada uma selecção criteriosa dos locais a monitorizar, de modo a que possam fornecer informação fiável e representativa do real estado da qualidade do ar. A tarefa da escolha dos locais para a instalação das estações de monitorização reveste-se, assim, de grande importância e ao mesmo tempo constitui um verdadeiro desafio. As estações de monitorização deverão, assim, ser instaladas em locais onde melhor possam medir a distribuição dos poluentes.

As estações de monitorização que se encontrem instaladas em locais inapropriados interferirão sempre com a validade dos dados recolhidos, o que poderá inviabilizar qualquer estratégia que tenha sido desenvolvida para controlo e redução da poluição atmosférica (Kao e Hsieh, 2006).

Complementarmente, além da selecção criteriosa dos locais a monitorizar, Hsu, *et al.* (2003) refere que é fundamental identificar as fontes de poluição atmosférica e estimar a respectiva contribuição, para que as estratégias de gestão da qualidade do ar a desenvolver incidam directamente sobre a origem da poluição.

O desenho e a implantação de redes de monitorização da qualidade do ar em zonas industriais pode ter como objectivo monitorizar o efeito da poluição atmosférica que é gerada pela área industrial como um todo, ou o efeito da poluição gerada por uma unidade industrial em particular. Em Portugal, é exigido que a maioria das grandes fontes estacionárias de poluição atmosférica monitorizem as suas emissões e, em determinadas circunstâncias, que tenham estações de monitorização da qualidade do ar em redor da unidade industrial.

De um modo geral, as estações de monitorização que não estejam sob influência directa de uma fonte de poluição (por exemplo, indústria ou rodovia), apenas detectam o efeito global da contribuição de todas as fontes (locais e/ou remotas). Embora a informação recolhida nessas estações seja fundamental para perceber o nível de contaminação, pode também ser aproveitada, com recurso a técnicas apropriadas de tratamento de dados, para identificar as fontes de poluição atmosférica que mais contribuem para o estado global da qualidade do ar junto dos receptores sensíveis. Apenas com base

nesse conhecimento, poderão ser desenvolvidas medidas que actuem directamente nas fontes de emissão atmosférica, bem como, estratégias eficazes de gestão da qualidade do ar e do território.

Quer a monitorização da qualidade do ar em zonas industriais, quer a identificação da contribuição efectiva de uma determinada fonte de poluição, são tarefas que se revestem de grande complexidade: por um lado, devido aos efeitos de confundimento que são criados pela poluição de fundo e pela interacção com outras fontes próximas; por outro lado, devido à influência exercida pelas condições de dispersão de poluentes nos locais em causa (influenciadas pelos parâmetros meteorológicos e pela orografia do local).

Face ao exposto, é extremamente importante avaliar se as redes que monitorizam a qualidade do ar de zonas industriais, ou que monitorizam o efeito particular de uma unidade industrial, são eficazes em detectar as concentrações dos poluentes emitidos pela zona industrial, ou pela unidade industrial a que estão associadas. Estes dois tipos de redes deverão ter ainda a capacidade para distinguir a poluição de fundo da poluição causada pela zona industrial, ou pela fonte para a qual foi desenhada e é suposto fornecer informação (Ferreira, 1998).

Além destas dificuldades, o nível de complexidade sobe quando as concentrações emitidas pela fonte de poluição que se pretende identificar são relativamente reduzidas.

## **1.2. OBJECTIVO E ÂMBITO**

O presente estudo pretende, assim, com recurso a técnicas estatísticas de tratamento de dados, avaliar a existência de uma relação causal e directa entre as emissões de poluentes atmosféricos de uma determinada fonte de poluição pontual, e os valores de qualidade do ar que são registados na rede de monitorização que lhe está associada. Este objectivo global subdivide-se, por sua vez, em dois objectivos específicos: avaliar a adequabilidade dos métodos estatísticos utilizados; e verificar se a rede de monitorização alvo de estudo é influenciada por outras fontes de poluição atmosférica.

A metodologia seguida para o desenvolvimento do presente trabalho consistiu na combinação de duas técnicas estatísticas, ou seja, a análise de correlações e a análise de variância (ANOVA).

A fonte de poluição pontual escolhida corresponde à SECIL – Companhia de Geral de Cal e Cimento, S.A. Trata-se de uma indústria cimenteira que se encontra instalada no Outão, a Oeste da cidade de Setúbal. As razões principais que estiveram na escolha desta unidade industrial para caso de estudo foram:

- Por se encontrar relativamente afastada e isolada de dois locais que exercem uma influência importante na qualidade do ar local: a malha urbana da cidade de Setúbal, incluindo a rede viária que lhe está associada; e a zona industrial de Setúbal, onde se encontram indústrias que emitem quantidades significativas de poluentes para a atmosfera;

- Por ter instalado, recentemente, uma rede própria de monitorização da qualidade do ar, que tem como objectivo monitorizar o efeito das suas emissões atmosféricas na qualidade do ar local. Não obstante, além dos poluentes que são emitidos pela cimenteira, as referidas estações registam também o efeito na qualidade do ar que é gerado pelos poluentes emitidos pela malha urbana e pela área industrial de Setúbal. Nesse sentido, tem-se revelado difícil perceber qual o peso relativo das emissões atmosféricas da SECIL – Outão nos registos obtidos em cada uma das estações de monitorização e, conseqüentemente, avaliar o efeito que essas emissões têm tido na degradação da qualidade do ar local e regional;
- Pelo facto do desempenho ambiental desta indústria ser continuamente alvo de atenção pelas populações vizinhas. A percepção pelo público do problema das emissões atmosféricas, bem como, as preocupações que o mesmo tem demonstrado nessa matéria, têm vindo progressivamente a aumentar. Refira-se, também, que a SECIL – Outão introduziu novos combustíveis no processo de fabrico no ano de 2004. Apesar dos elevados investimentos que tem feito para controlar as emissões atmosféricas, a fim de cumprir todos os limites legais, o seu desempenho continua, e continuará, a ser alvo de atenção.

No sentido de verificar se a mesma rede de monitorização é influenciada pela zona industrial de Setúbal, aplicou-se a mesma técnica à Central Termoeléctrica de Setúbal (CTS) pois, segundo Ferreira, (1998) a mesma constitui a maior fonte de emissão de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) na área estudada.

Apesar de não se encontrar no âmbito do presente trabalho a optimização da rede de monitorização da fábrica SECIL-Outão, considera-se que os resultados obtidos permitirão perceber se a rede de monitorização foi correctamente concebida para registar as emissões da fábrica SECIL – Outão.

### **1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

O presente trabalho encontra-se organizado nos seguintes capítulos principais:

#### **A. Qualidade do ar em zonas industriais**

Inclui a revisão bibliográfica do tema central da tese e das matérias colaterais mais relevantes, bem como, uma revisão genérica de abordagens anteriores. As matérias seleccionadas foram: os principais efeitos na qualidade do ar das fontes de poluição do ar consideradas; poluentes atmosféricos em estudo; monitorização da qualidade do ar em zonas industriais; influência de fenómenos naturais na qualidade do ar; métodos de avaliação da contribuição de cada fonte de poluição para o estado da qualidade do ar.

## **B. Descrição do Caso de Estudo**

Neste capítulo procede-se ao enquadramento e à caracterização das matérias colaterais ao objectivo central da tese, mais relevantes para a sua boa compreensão. Foram assim caracterizados os seguintes assuntos: unidade industrial em estudo; principais fontes de poluição atmosférica existentes na região em estudo; redes de monitorização da qualidade do ar consideradas; factores climáticos que influenciam a dispersão de poluentes atmosféricos na região em estudo.

## **C. Metodologia**

Descreve-se a metodologia aplicada tendo em conta os objectivos definidos para o tema em estudo. É também indicado o período de análise, a informação utilizada e as técnicas utilizadas para o seu processamento;

## **D. Resultados e discussão**

Neste capítulo procede-se à exploração e interpretação dos resultados obtidos, tendo em conta as abordagens e as técnicas de processamento definidas na metodologia;

## **E. Conclusões**

Em consonância com os objectivos definidos, apresenta-se neste capítulo as considerações finais sobre o trabalho realizado e as recomendações para possíveis desenvolvimentos futuros.









## 2. QUALIDADE DO AR EM ZONAS INDUSTRIAIS

No presente capítulo procede-se a uma revisão dos estudos/trabalhos que têm sido desenvolvidos sobre a qualidade do ar em zonas industriais, que se relacionam especialmente com o tema em análise. Face aos objectivos e ao âmbito proposto para o presente estudo, considerou-se fundamental proceder a uma revisão detalhada de todos os estudos/trabalhos que têm sido realizados, cujos resultados fornecem informação fundamental para o correcto entendimento e interpretação do problema e sub-problemas em análise.

Apresenta-se, assim, de seguida uma breve descrição dos estudos pesquisados, e que se relacionam com os seguintes temas:

- Efeitos sobre a qualidade do ar das principais fontes de poluição pontual que foram consideradas para o presente estudo;
- Principais efeitos dos poluentes atmosféricos em estudo sobre a qualidade do ar, e respectivos impactes directos e indirectos;
- Monitorização da qualidade do ar em zonas industriais e principais critérios que devem ser tidos em consideração para implementar redes de monitorização;
- Influência de fenómenos naturais na qualidade do ar local e regional;
- Métodos que têm sido desenvolvidos para diferenciar e avaliar a contribuição de cada fonte de poluição para o estado de qualidade do ar.

No primeiro tema, é descrita a influência que as fontes pontuais consideradas (indústrias cimenteiras, centrais termoeléctricas e indústrias de produção de pasta de papel) têm sobre a qualidade do ar. Descrevem-se as principais actividades desenvolvidas e a sua relação com as principais emissões de poluentes atmosféricos.

No segundo tema, são descritas as principais características químicas e físicas dos poluentes em análise, os seus processos de formação, as reacções em que participam e poluentes secundários que dão origem quando são libertados para a atmosfera. Descrevem-se, também, os principais efeitos que exercem sobre a qualidade do ar, sobre a saúde humana, sobre a vegetação e sobre os bens materiais.

No terceiro tema, é explicada a importância da implementação de redes eficazes de monitorização da qualidade do ar em zonas industriais. São identificados alguns dos critérios mais importantes que, segundo diversos autores, devem ser tidos em conta na implantação e funcionamento de qualquer rede de monitorização da qualidade do ar (RMQA). Embora o presente trabalho não tenha como objectivo implantar ou melhorar o funcionamento da rede de monitorização da SECIL-Outão, considera-se que a informação pesquisada pode fornecer pistas importantes para a correcta interpretação dos resultados que se apresentam no Capítulo V. Tais pistas podem indicar se existem outros factores que estejam a influenciar os valores medidos pelas estações de monitorização consideradas, bem como perceber a importância dessas influências nos valores medidos.

Tendo em conta a localização da área em estudo e das estações de monitorização da qualidade do ar consideradas, descreve-se, no quarto tema, os efeitos que alguns fenómenos naturais (como os aerossóis emitidos pelo oceano, as poeiras oriundas do Norte de África, entre outros) podem ter sobre a qualidade do ar local e regional. Esta informação pode também fornecer pistas importantes para a correcta interpretação dos resultados do presente trabalho.

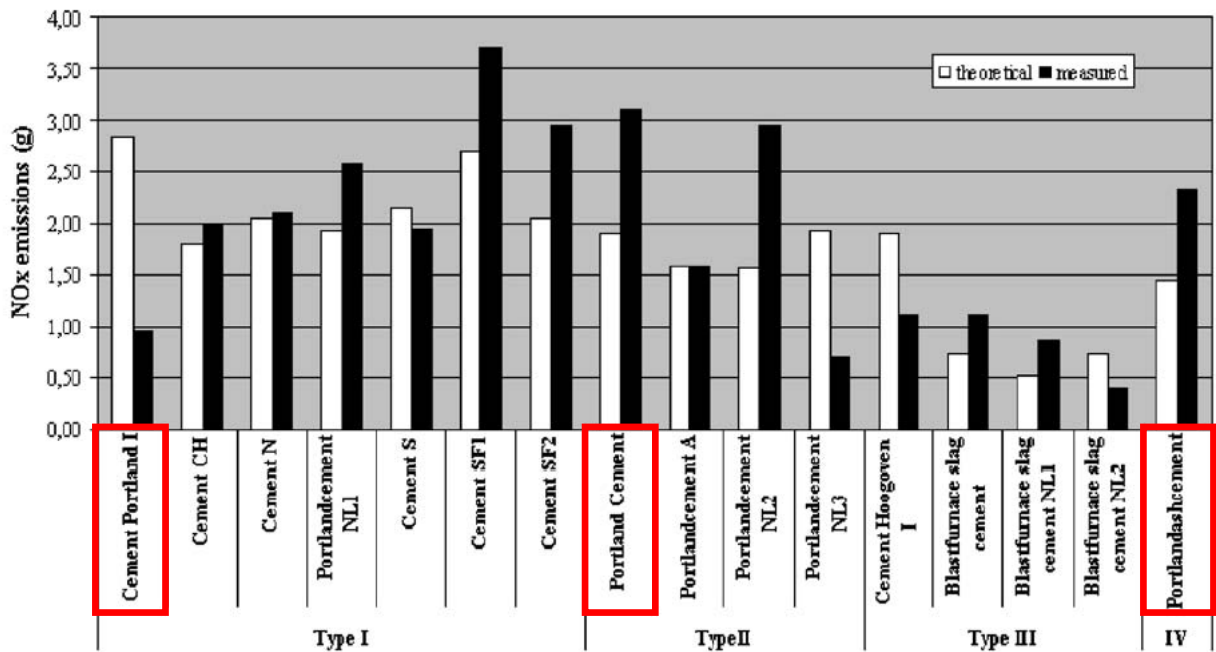
Finalmente, no último tema (aquele que se relaciona mais com o tema objecto do presente estudo), são apresentados alguns métodos estatísticos que têm vindo a ser desenvolvidos e utilizados por diversos autores, para identificar fontes de poluição e avaliar a sua contribuição para a qualidade do ar local e regional. De um modo geral, estes métodos foram desenvolvidos a partir dos níveis de concentração de diversos poluentes, registados quer em campanhas de monitorização quer por redes de monitorização fixas já existentes.

## **2.1. FONTE DE POLUIÇÃO EM ANÁLISE – PRINCIPAIS EFEITOS NA QUALIDADE DO AR**

O impacto das indústrias cimenteiras na qualidade do ar local e regional é um tema que tem sido amplamente estudado a nível nacional e internacional. Os principais poluentes atmosféricos que são emitidos por esta actividade industrial são as Partículas Totais em Suspensão (PTS), os Óxidos de Azoto ( $\text{NO}_x$ ), o Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e o Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Josa *et al.*, 2004).

De acordo com Josa *et al.* (2004), as emissões de  $\text{NO}_x$  devem-se sobretudo à queima de combustíveis fósseis durante a produção de clínquer e do consumo de energia durante todo o processo de produção. As emissões de  $\text{NO}_x$  não resultam assim das reacções químicas que ocorrem durante o processo produtivo, mas sim da queima de combustíveis fósseis. As emissões de  $\text{NO}_x$  dependem, em primeiro lugar, do conteúdo de clínquer no cimento, pelo que as principais fontes de emissão de  $\text{NO}_x$  são os processos necessários para a produção de clínquer. Os mesmos autores referem que as emissões que decorrem desse processo são dez vezes superiores às emissões que decorrem do consumo de energia nas restantes fases de produção.

Na Figura 2-1 indicam-se os valores de  $\text{NO}_x$  emitidos por quilograma de cada tipo de cimento produzido. Estabelece-se também a comparação entre os valores fornecidos pelo modelo utilizado no estudo e os valores obtidos a partir dos inventários realizados.



**Figura 2-1** – Emissões teóricas e medidas de NO<sub>x</sub> por quilograma de cimento produzido. A vermelho são indicados os tipos de cimento que são produzidos na Fábrica SECIL-Outão.

Fonte: Josa *et al.* (2004).

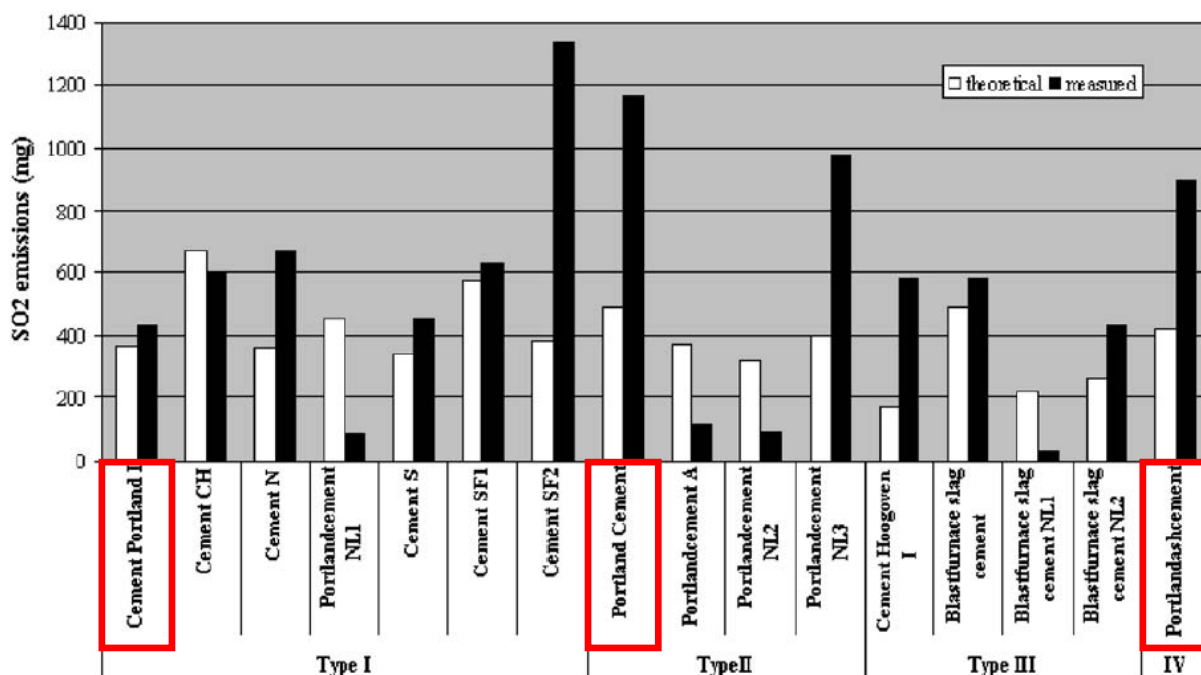
A Fábrica SECIL-Outão produz apenas cimento cinzento Portland dos quatro tipos indicados na Figura 2-1. Conforme se pode observar na figura anterior, é o cimento Portland Tipo I que mais emissões de NO<sub>x</sub> gera.

Em relação ao SO<sub>2</sub>, no mesmo estudo é referido que os principais responsáveis pelas emissões desse poluente são:

- as reacções químicas que ocorrem no forno de clínquer (devido ao conteúdo de enxofre que se encontra presente na matéria-prima e no cru);
- a combustão do enxofre que está presente nos combustíveis fósseis utilizados na produção do clínquer;
- a combustão do enxofre durante a produção de energia que é consumida ao longo de todo o processo.

De acordo com o estudo indicado no parágrafo anterior, 70 a 95% da fracção das emissões de SO<sub>2</sub> que são produzidas pela indústria cimenteira, são absorvidas devido à alcalinidade do clínquer. O excesso é emitido para a atmosfera.

Apresentam-se na Figura 2-2 os valores de SO<sub>2</sub> emitidos por quilograma de cada tipo de cimento produzido.



**Figura 2-2** – Emissões teóricas e medidas de SO<sub>2</sub> por quilograma de cimento produzido. A vermelho são indicados os tipos de cimento que são produzidos na Fábrica SECIL-Outão.

Fonte: Josa *et al.* (2004).

De acordo com a Figura 2-2, é o cimento Portland Tipo II e Tipo IV que mais emissões de SO<sub>2</sub> produzem.

Segundo o mesmo autor do estudo indicado anteriormente, os avanços tecnológicos e a cada vez maior utilização de combustíveis alternativos são as chaves para gerar emissões cada vez menores e para diminuir o consumo de recursos energéticos não renováveis

De acordo com Isıklı *et al.* (2006), um dos impactes mais significativos que esta actividade industrial exerce sobre a qualidade do ar, resulta da emissão excessiva de partículas em suspensão (PS) para atmosfera. Estas partículas podem ser geradas em diversas fases do processo industrial, desde a extracção da matéria-prima até à expedição do produto final (clínquer e cimento). Uma vez emitidas, as PS podem ser transportadas e espalham-se por vastas áreas pela acção dos elementos climáticos, acumulando-se nas plantas, animais e no solo, podendo afectar negativamente os ecossistemas e a saúde humana (Bayhan e Ozbay, 1992; Demir *et al.*, 2005a, in Isıklı *et al.*, 2006).

A informação sobre os níveis ambientais e o risco para a saúde das populações que vivem perto destas indústrias são escassos (Isıklı *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2003; Schuhmacher *et al.*, 2004; Demir *et al.*, 2005b in Isıklı *et al.*, 2006). No estudo “*Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities*” elaborado por Abdul-Wahab, S. A. (2006) foi feita uma avaliação sobre o impacto das partículas emitidas por uma cimenteira sobre uma comunidade que reside nas suas proximidades. Este estudo afirma que em quase todas as fases do processo de produção de cimento, são emitidas grandes quantidades de poeiras para a atmosfera. As poeiras são produzidas e emitidas

durante muitas fases do processo produtivo, desde a extracção e transporte da matéria-prima, passando pelo transporte e produção do cru e terminando nos processos de empacotamento e de expedição do cimento produzido.

A quantidade de poeiras emitidas variam, significativamente, de unidade para unidade industrial e de outros factores como a topografia do meio envolvente, das condições meteorológicas, e a ocorrência de inversões térmicas (Trindade *et al.*, 1981; Abdul-Wahab, 2003 *in* Abdul-Wahab, 2006).

## 2.2. POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM ESTUDO – SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> E PM<sub>10</sub>

Conforme já foi referido, no presente estudo são considerados três poluentes atmosféricos, designadamente, o SO<sub>2</sub>, os NO<sub>x</sub> e as PS cujo diâmetro aerodinâmico médio é inferior a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>). Descrevem-se de seguida as principais características químicas e físicas, os seus processos de formação, as reacções em que participam e poluentes secundários que dão origem quando são libertados para a atmosfera. Descrevem-se também os principais efeitos que têm sobre a qualidade do ar, a saúde humana, a vegetação e os bens materiais.

### Dióxido de Enxofre

O SO<sub>2</sub> é um gás incolor, não inflamável e que apresenta um odor intenso (Vallero, 2008). Este composto reage à superfície duma variedade de partículas sólidas em suspensão na atmosfera, é altamente solúvel em água e pode ser oxidado no interior de gotículas de água em suspensão na atmosfera. As fontes emissoras mais comuns de SO<sub>2</sub> incluem a combustão de combustíveis fósseis, fundições, produção de ácido sulfúrico, indústria de celulose, incineração de resíduos e produção de enxofre elementar (SECIL, 2006).

O enxofre está presente na maioria dos combustíveis fósseis, não obstante é no carvão que se concentra mais, pelo que a sua queima constitui a maior fonte antropogénica individual de SO<sub>2</sub> (Vallero, 2008). Esta fonte contribui com cerca de 50 % das emissões globais anuais, seguindo-se as fontes resultantes da combustão dos derivados de petróleo, que contribuem com cerca de 25 a 30% (SECIL, 2006). Como fontes naturais de SO<sub>2</sub> destacam-se os vulcões e os oceanos (Carmichael *et al.*, 2002; Garg *et al.*, 2006; Reddy e Venkataraman, 2002; WHO, 2000 *in* Pires *et al.*, 2007a).

O SO<sub>2</sub> resulta portando da reacção do enxofre com a molécula de oxigénio, durante o processo de combustão, conforme se descreve na reacção seguinte (Vallero, 2008):



Este poluente é um precursor das chuvas ácidas pois, na atmosfera, o SO<sub>2</sub> pode reagir novamente com oxigénio para formar Sulfito (SO<sub>3</sub>) que, por sua vez, pode reagir com moléculas de água para formar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (Vallero, 2008):





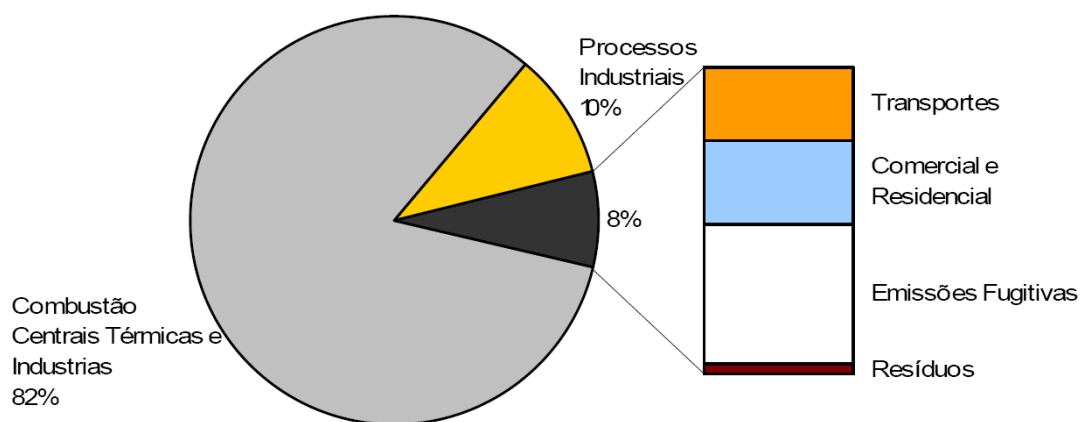
Diversos estudos evidenciam que o transporte de longa distância do  $\text{SO}_2$  ocorre na troposfera. Quando em trânsito, as quantidades de  $\text{SO}_2$  são convertidas em sulfato, que se deposita na superfície da terra por processos secos ou húmidos, muito longe das respectivas fontes de emissão. Por sua vez, a deposição do sulfato desempenha um papel extremamente importante na deposição ácida que contribui para a diminuição do pH das águas interiores e altera a composição de alguns solos. Este efeito afecta a capacidade de sobrevivência de muitas plantas e espécies aquáticas (Vallero, 2008).

Na Europa Ocidental e na América do Norte, as concentrações de  $\text{SO}_2$  nas áreas urbanas têm vindo a decrescer nos anos recentes em resultado do controlo das emissões (Nunnari *et al.*, 2004 in Pires *et al.*, 2007a), seja ao nível da aplicação de tecnologias de tratamento nos gases de escape, seja pela diminuição do teor de enxofre nos combustíveis fósseis.

Historicamente, quer em países industrializados quer em países em vias de desenvolvimento, uma das principais causas da poluição atmosférica é a que se relaciona com as emissões de  $\text{SO}_2$  na produção de energia a partir das Centrais Termoeléctricas. Estas emissões resultam da combustão do enxofre que está presente nos combustíveis fósseis, como o carvão e o fuelóleo que, normalmente, são utilizados por essas centrais (Mlakar, 2004).

Ferreira (1998) refere, igualmente, que as centrais termoeléctricas constituem uma das fontes estacionárias mais significativas de poluição de certos poluentes, entre os quais se destaca  $\text{SO}_2$ .

Em Portugal, segundo o relatório “Alocação especial de emissões em 2003” (APA, 2006) elaborado pela Agência Portuguesa de Ambiente (APA), os sectores que mais contribuíram naquele ano para as emissões de  $\text{SO}_x$  foram: a Indústria, com destaque para a Produção de Energia e Combustão na Indústria e os Processos Industriais (92%); o Comércio e Residencial, Outras Fontes de Combustão Estacionárias e os Transportes (excluindo o transporte aéreo em cruzeiro), são os sectores que se seguem em termos de percentagem de contribuição para as emissões de  $\text{SO}_x$  (7,5%) (Figura 2-3).



**Figura 2-3** – Emissões de  $\text{SO}_x$  em Portugal por sector de actividade.

Fonte: APA (2006).



Em Portugal, os maiores focos de emissão de SO<sub>2</sub> estão localizados em Matosinhos (principal área industrial do Grande Porto), Estarreja (área industrial com forte componente química), Barreiro (complexo industrial onde se destaca a componente química e a existência de um central termoelétrica), Setúbal (área industrial com uma importante central termoelétrica, uma indústria produtora de pasta de papel e uma cimenteira) e Sines (maior complexo petroquímico do país). Constituem também importantes focos de emissão deste poluente as centrais termoelétricas que estão localizadas fora dos grandes perímetros industriais (DGA, 2001). São sobretudo em fontes pontuais que mais contribuem para o total de emissões de SO<sub>x</sub> a nível nacional (86,4%) (APA, 2006).

As maiores concentrações deste poluente ocorrem, principalmente, na zona do Alentejo litoral (a Este da cidade de Sines), na zona da Península de Setúbal / Alcácer do Sal e no Porto Litoral (DGA, 2001).

O SO<sub>2</sub> é um gás que provoca a irritação dos olhos e das vias respiratórias, podendo ter efeitos agudos e crónicos na saúde humana (Pires *et al.*, 2007a). É altamente solúvel, o que facilita a sua absorção logo no topo das vias respiratórias, podendo depois ser eliminado por processos bioquímicos ou difundir-se por todo o organismo pelo sistema circulatório (Vallero, 2008). Os efeitos da inalação do SO<sub>2</sub> podem surgir em apenas alguns minutos e pessoas que sofrem de asma e de doenças pulmonares crónicas são especialmente susceptíveis aos efeitos adversos que podem provocados (Pires *et al.*, 2007a).

Ao nível da vegetação o SO<sub>2</sub> provoca alterações dos processos metabólicos, reduz as taxas de crescimento, reduz a actividade fotossintética e contribui para a degradação da clorofila (Carlson, 1979; Lee *et al.*, 1997 in Pires *et al.*, 2007a). A deposição seca e húmida do SO<sub>2</sub> e dos aerossóis sulfurados sobre materiais provoca a sua corrosão e acelera os processos naturais de envelhecimento e de degradação (DGA, 2001). Muitos dos monumentos existentes nas cidades europeias resistiram, durante centenas de anos, à acção abrasiva causada pelos elementos naturais. Contudo, nas últimas décadas tem-se assistido a uma aceleração da degradação das respectivas superfícies, em resultado da acção indirecta dos poluentes atmosféricos, em particular dos precursores do SO<sub>2</sub> (Pires *et al.*, 2007a).

Os processos de transformação e de deposição do SO<sub>2</sub> podem ocorrer ao longo de grandes distâncias, o que contribui para a poluição transfronteiriça (ApSimon e Warren, 1996 in Pires *et al.*, 2007a).

O Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril (INCM, 2002), transpõe para o ordenamento jurídico interno a Directiva n.º 1999/30/CE, relativa aos valores limite definidos para a concentração de diversos poluentes na atmosfera. Os valores limite definidos para o SO<sub>2</sub> foram:

- o valor limite em base horária para a protecção da saúde humana é de 350 µg/m<sup>3</sup>, que não pode ser excedido mais de 24 vezes no período de uma ano;
- valor limite em base diária para a protecção da saúde humana é de 125 µg/ m<sup>3</sup>, o qual não pode ser excedido mais do que 3 vezes no período de um ano;
- o valor limite em base anual para a protecção dos ecossistemas é de 20 µg/ m<sup>3</sup>.

Ainda no que diz respeito a valores-limite, foi publicada recentemente a Directiva 2008/50/CE, de 21 de Maio de 2008, que deve ser transposta para o direito interno até 11 de Junho de 2010. Entre outros

aspectos, esta directiva vem definir e fixar objectivos relativos à qualidade do ar ambiente destinados a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente na sua globalidade, resultantes da poluição causada pelo SO<sub>2</sub> (CE, 2008). Esta directiva define os limiares de avaliação superior e inferior para este poluente, e obriga a que cada zona e aglomeração seja classificada em relação a estes limiares de avaliação, aplicando um conjunto de critérios de avaliação. Estabelece também os valores-limite e os limiares de alerta para protecção da saúde humana e define níveis críticos que devem ser respeitados pelos Estados-Membros.

## Óxidos de Azoto

Os óxidos de azoto resultam das concentrações volúmicas de monóxido de azoto (NO) e de dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>) expressa em unidades de concentração em massa de dióxido de azoto (µg/m<sup>3</sup>) (CE, 2008).

O NO é um gás sem cor, sem cheiro e praticamente insolúvel em água. Já o NO<sub>2</sub> é um gás castanho avermelhado, não inflamável, possui um forte odor a ácido e é mais facilmente solúvel em água. Do mesmo modo, os compostos de azoto também se formam durante os processos de combustão, contudo as respectivas fontes são muito diferentes das dos compostos de enxofre. De facto, a própria atmosfera constitui uma importante fonte da maior parte do azoto que conduz à formação dos NO<sub>x</sub>. Embora o azoto molecular (N<sub>2</sub>) seja relativamente não reactivo nas condições normais da atmosfera terrestre, quando sujeito a pressões e a temperaturas elevadas, consegue reagir com o oxigénio para formar os NO<sub>x</sub>, de acordo com reacções químicas 4 e 5 (Vallero, 2008).



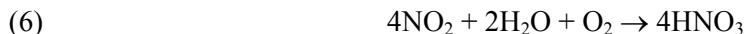
As condições ideais para a formação de NO ocorrem nos motores de combustão interna (como os que existem nos automóveis), o que faz dos veículos de transporte a maior fonte deste poluente. Estas condições de elevadas temperaturas e pressões também podem ser encontradas nas caldeiras das centrais termoeléctricas, pelo que elevadas concentrações de NO<sub>x</sub> são também muito comuns nos gases emitidos por estas centrais (Vallero, 2008).

Aproximadamente 90 a 95% dos NO<sub>x</sub> que são gerados nos processos de combustão encontram-se na forma de NO, não obstante, também é formado o NO<sub>2</sub> em menores quantidades. Quando o NO é emitido para a atmosfera reage com moléculas de oxigénio em processos fotoquímicos e rapidamente se converte para NO<sub>2</sub> (Vallero, 2008):



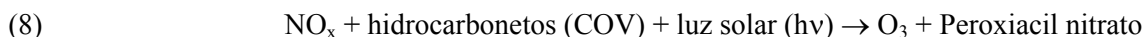
As variações sazonais do NO<sub>2</sub> em ambientes relativamente despoluídos, podem ser afectados por diversos factores, não obstante, são as condições da radiação solar que dão origem a uma maior variação (Nguyen e Kim, 2006).

Por sua vez, o  $\text{NO}_2$  é um precursor das chuvas ácidas pois, na atmosfera, este poluente pode reagir com moléculas de água para formar ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), um poluente secundário que é produzido pela seguinte reacção (SECIL, 2007):

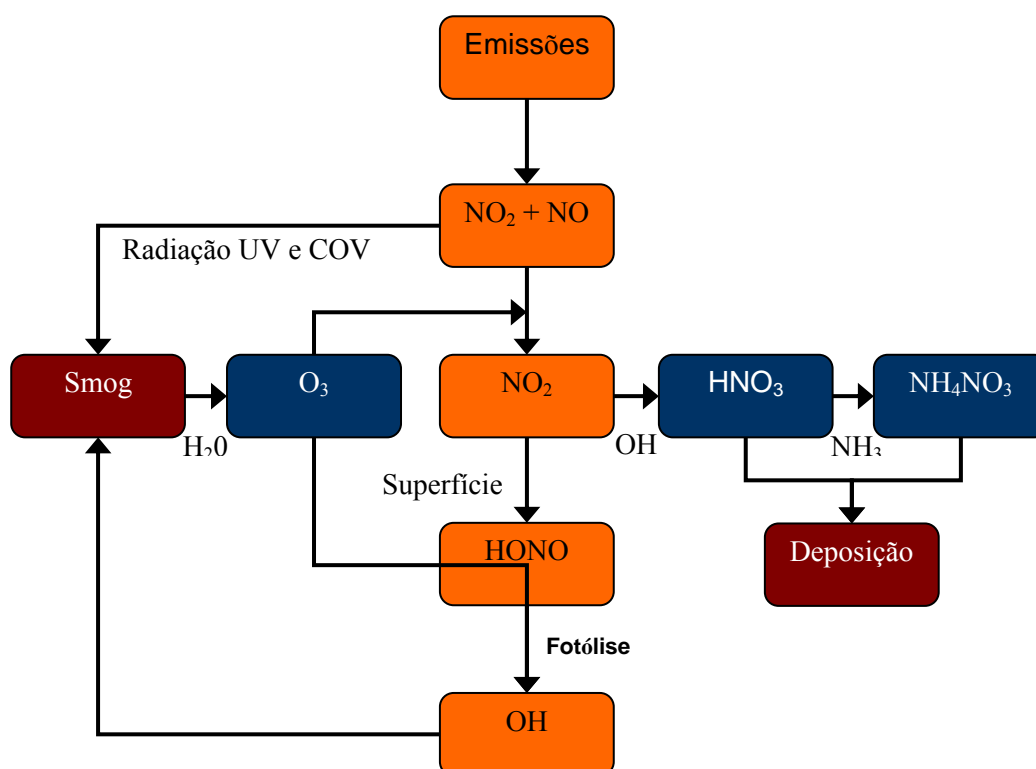


Existem também algumas fontes naturais de  $\text{NO}_x$ , como a transformação microbiana nos solos, as descargas eléctricas na atmosfera, entre outros.

Os  $\text{NO}_x$  também desempenham um papel importante nas reacções atmosféricas que produzem o ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ) e que conduz ao aparecimento de condições de “*smog*” fotoquímico. Os  $\text{NO}_x$  podem reagir com os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) para formar ozono ( $\text{O}_3$ ). Em grande parte, as preocupações que têm conduzido à regulação das emissões do NO e do  $\text{NO}_2$ , tem como objectivo suprimir/reduzir as reacções que ocorrem na atmosfera que produzem o  $\text{O}_3$ , uma molécula extremamente reactiva. Este forma-se na por processos fotoquímicos na troposfera. De facto, o  $\text{NO}_2$  é o principal gás responsável pela absorção de luz do sol, que é necessária para que ocorram as reacções fotoquímicas. Esta molécula é extremamente eficiente em absorver radiação ultravioleta que chega à terra pela luz solar. A reacção geral responsável pela formação de  $\text{O}_3$  na troposfera é a seguinte (Vallero, 2008):



Factores como a dispersão atmosférica, a deposição e a transformação química provocam uma diminuição nas concentrações de  $\text{NO}_2$  à medida que nos afastamos das fontes emissoras (CE, 1997). Na Figura 2-4 apresenta-se o ciclo dos compostos azotados, o qual sintetiza as reacções descritas anteriormente.



**Figura 2-4** – Ciclo dos compostos azotados.

Fonte: CE (1997).

O NO e o NO<sub>2</sub> são ambos prejudiciais e tóxicos para os humanos. De um modo geral, as concentrações destes NO<sub>x</sub> presentes na atmosfera encontram-se muito abaixo das concentrações que conduzem aos efeitos nefastos sobre a saúde humana. Não obstante, quando as respectivas concentrações ultrapassam determinados valores, o NO<sub>2</sub>, por ser menos solúvel, consegue penetrar mais profundamente na região pulmonar e provocar lesões nos brônquios e nos alvéolos pulmonares, edema pulmonar, bronquite crónica e enfisemas. De facto, tem sido reportado por diversos estudos que existe um aumento significativo de mortalidade causada por doenças cardiopulmonares nas populações que residem nas proximidades da rede rodoviária principal (Hoek *et al.*, 2002 in Nguyen e Kim, 2006).

Sobre o ambiente em geral, os NO<sub>x</sub> geram diversos efeitos adversos (Hashim *et al.*, 2004; Kalabokas *et al.*, 2002; USEPA, 1998; WBG, 1998; WHO, 2000 in Pires *et al.*, 2007b), como sejam:

- formação das chuvas ácidas – conforme já referido, o NO<sub>x</sub> é precursor das chuvas ácidas, cujo efeito sobre a vegetação, o solo, a água e os materiais é extremamente negativo;
- degradação da qualidade da água – o aumento da quantidade de azoto nas massas de água resulta no desequilíbrio químico dos nutrientes utilizados pelas plantas aquáticas e outros organismos;
- formação de espécies químicas tóxicas – o NO<sub>x</sub> reage com diversos químicos orgânicos para formar uma grande variedade de produtos tóxicos, como os radicais de azoto, as nitosaminas, entre outros;

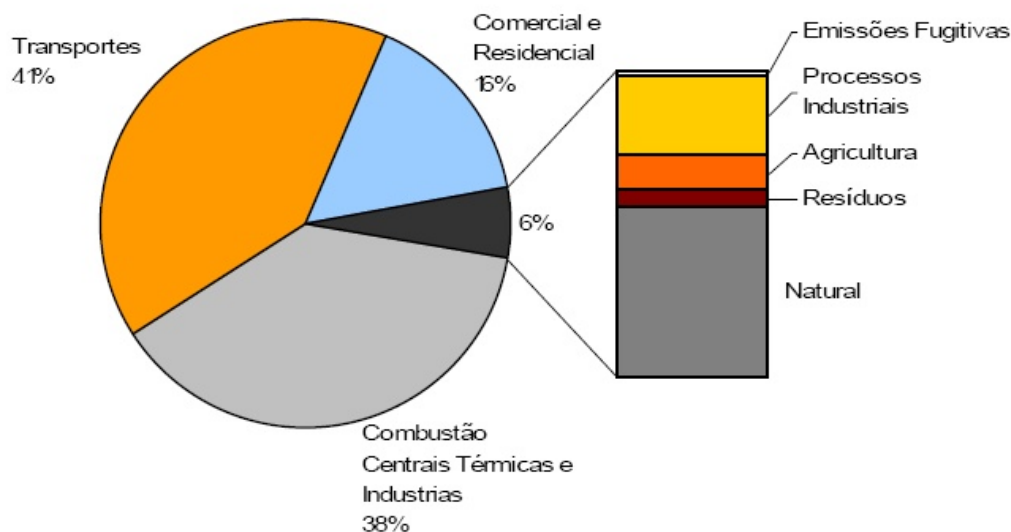
- redução da visibilidade – o  $\text{NO}_2$  tem capacidade de bloquear a transmissão da luz;
- aumento da temperatura média do globo – o NO é um gás com efeito de estufa;
- formação de ozono troposférico – como já referido, na presença de hidrocarbonetos e da radiação solar, o  $\text{NO}_x$  contribui para a formação de ozono troposférico, que é causador de sérios problemas para a saúde humana, em particular para o sistema respiratório.

Sobre a vegetação este poluente interfere com o desenvolvimento das florestas e da agricultura. (Vallero, 2008). Conforme já referido, o  $\text{NO}_x$  é precursor das chuvas ácidas, cujo efeito sobre a vegetação, o solo e a água é extremamente negativo. Além disso contribui para a degradação da qualidade da água pois, os  $\text{NO}_x$ , quando em contacto com a mesma, podem reagir e formar substâncias que constituem nutrientes para os organismos presentes nesse meio. Quando em excesso, estes nutrientes favorecem uma multiplicação desmedida desses organismos que, por sua vez, pode conduzir a um deficit de oxigénio e, numa situação mais extrema, à eutrofização de uma massa de água.

Como já referido, os principais focos de emissão destes poluentes são os transportes rodoviários, pelo que é de esperar que as maiores concentrações ocorram nos principais aglomerados urbanos, onde o tráfego rodoviário é mais intenso. De acordo com Venegas e Mazzeo (2006), devido ao grande aumento do transporte individual nas cidades, os  $\text{NO}_x$  constituem um dos principais poluentes atmosféricos que ocorrem nos aglomerados urbanos.

Não obstante, não são de desprezar as quantidades emitidas pelas centrais termoeléctricas e diversas também as actividades industriais, comerciais e residenciais que utilizam os combustíveis fósseis para produção de energia. Eventos naturais como os processos biológicos anaeróbicos que ocorrem no solo e na água, a actividade vulcânica e a destruição fotoquímica dos compostos azotados que ocorre nas altitudes mais elevadas da atmosfera, constituem também fontes de emissão de  $\text{NO}_x$  (USEPA, 1998; WBG, 1998 *in* Pires, *et al.* 2007b).

Segundo APA, (2006), os sectores da economia que mais contribuíram no ano de 2003 para as emissões de  $\text{NO}_x$  foram (ver Figura 2-5): os Transportes (41%), a Industria, com destaque para as Centrais Térmicas (38%), e o Comércio e Residencial (16%).



**Figura 2-5** – Emissões de NO<sub>x</sub> em Portugal por sector de actividade no ano de 2003.

Fonte: APA (2006).

As fontes pontuais representam cerca de 29% das emissões de NO<sub>x</sub>, em 2003, das quais 66% provêm das indústrias de produção de energia, 14% da refinação de petróleo, 10% da indústria de cimento e 6% da produção da pasta de papel. As fontes em área representam 71% das emissões nacionais de NO<sub>x</sub>. Para estas fontes contribuem com maior significado os Transportes e o sector Comercial e Residencial (APA, 2006).

A nível territorial, de acordo com DGA (2001), as maiores concentrações de NO<sub>2</sub> ocorrem, fundamentalmente, nas áreas metropolitanas de Lisboa e do Porto.

Em Portugal as concentrações médias anuais de NO<sub>2</sub> em áreas urbanas exibem, normalmente, concentrações na gama de 20 – 90 µg/m<sup>3</sup>, e mais baixas nas zonas rurais. Os níveis de concentração variam, significativamente, durante todo o dia, com os picos a ocorrerem geralmente duas vezes por dia, coincidentes com os períodos de hora de ponta (início da manhã e final da tarde) (SECIL, 2007).

O Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril (INCM, 2002), transpõe para o ordenamento jurídico interno a Directiva n.º 1999/30/CE, relativa aos valores limite definidos para a concentração de diversos poluentes na atmosfera. Os valores limite definidos para o NO<sub>2</sub> e para o NO<sub>x</sub>:

- o valor limite em base horária para a protecção da saúde humana é de 200 µg/m<sup>3</sup>, que não pode ser excedido em mais de 18 vezes por ano (valor limite para ser atingido até Janeiro de 2010);
- o valor limite em base anual para a protecção da saúde humana é de 40 µg/m<sup>3</sup> (valor limite para ser atingido até Janeiro de 2010);
- o valor limite em base anual para a protecção da vegetação é de 30 µg/m<sup>3</sup>.

A recente Directiva 2008/50/CE, de 21 de Maio de 2008 vem também definir e fixar objectivos relativos à qualidade do ar ambiente destinados a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente na sua globalidade, resultantes da poluição causada pelo  $\text{NO}_x$  (CE, 2008). Esta directiva define também os limiares de avaliação superior e inferior para este poluente, e obriga a que cada zona e aglomeração seja classificada em relação a estes limiares de avaliação, aplicando um conjunto de critérios de avaliação. Estabelece também os valores-limite e os limiares de alerta para protecção da saúde humana e define níveis críticos que devem ser respeitados pelos Estados-Membros.

### **Partículas em Suspensão**

As PS, numa primeira instância, classificam-se com base nas suas propriedades físicas. São consideradas como tal todas as partículas cuja velocidade de sedimentação é inferior a 10m/s, quer seja originada por fontes antropogénicas ou por fontes naturais. As PS não correspondem assim a uma entidade química específica, mas sim a uma mistura de partículas de diferentes fontes e de diferentes tamanhos, composições e propriedades (Vallero, 2008).

As PS são assim uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas, presentes na atmosfera no estado líquido e sólido. Do ponto de vista químico, as PS troposféricas são constituídas por iões inorgânicos, compostos metálicos, carbono elementar, compostos orgânicos e substâncias que pertencem à própria crosta terrestre. Outras ainda, podem ser higroscópicas, ou seja, partículas que estão ligadas a moléculas de água (Vallero, 2008).

A fracção grosseira das partículas é definida como aquelas com um diâmetro aerodinâmico superior a 2,5 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), e a fracção fina inferiores a 2,5  $\mu\text{m}$ . A fracção respirável das partículas é definida como aquelas com um diâmetro aerodinâmico inferior a 10 $\mu\text{m}$ . Normalmente, a fracção grosseira contém elementos da crosta terrestre e poeiras provenientes dos veículos automóveis e indústrias. A fracção fina contém aerossóis de formação secundária, partículas provenientes de combustões e vapores orgânicos e metálicos re-condensados. Uma outra definição pode ser aplicada para classificar as PS como sendo primárias ou secundárias, de acordo com a sua origem. As partículas primárias são aquelas que são emitidas directamente para a atmosfera enquanto que as secundárias são formadas através de reacções envolvendo outros poluentes (SECIL, 2007).

As fontes de partículas podem ser muito diversas. Podem ser emitidas directamente para o ar a partir de fontes estacionárias como fábricas, centrais de produção de energia, entre outras, e a partir de fontes móveis como são os veículos, os fogos ao ar livre, entre outros. No caso dos veículos, as partículas podem surgir, primeiro, em resultado do funcionamento dos motores de combustão interna, mas também pela ressuspensão de partículas pela interacção do veículo com o meio no qual se move (Vallero, 2008). Outras fontes de emissão de partículas também importantes são as incineradoras, as pedreiras e as cimenteiras. De um modo geral, as fontes naturais são menos importantes em termos de

emissões, contudo podem ocorrer situações mais extremas, que resultam das emissões pelos vulcões e em resultado das tempestades de areia que ocorrem nas grandes regiões desérticas do globo.

De acordo com Vardoulakis e Kassomenos (2007), as principais causas que estão na origem de episódios de poluição, gerados pelas PS, nas cidades Europeias são as seguintes:

- o tráfego (principalmente rodoviário);
- fracas condições locais de dispersão atmosférica (ventos calmos, inversões térmicas, entre outros);
- condições meteorológicas que favorecem o transporte das PS em longas distâncias;
- fontes naturais de poeiras que não são fáceis de controlar (PS que têm origem na ocorrência de ventos muito fortes, aerossóis gerados pelos oceanos, entre outros).

As partículas podem também surgir de forma indirecta, isto é, a partir de gases previamente emitidos para a atmosfera. Por exemplo, os gases resultantes da queima de combustíveis fósseis que podem reagir com a luz do sol e com o vapor de água e formar PS (Vallero, 2008). Também a própria condensação do vapor de baixa pressão em aerossóis e a sua coagulação, podem contribuir para a formação de PS.

As PS constituem um dos poluentes que, adversamente, mais afectam a saúde humana na Europa (Koelemeijer *et al.*, 2006 in Pires, 2007a). A poluição causada por este poluente tem-se transformado num assunto que gera cada vez mais preocupações por parte das populações. Um grande número de estudos epidemiológicos têm estabelecido uma ligação entre as concentrações das PS no ambiente e o aumento de morbilidade e mortalidade (Dockery e Pope, 1994 in Vardoulakis. e Kassomenos, 2007).

A fracção fina das partículas é a mais prejudicial para a saúde humana devido à sua maior capacidade para penetrar mais profundamente nos órgãos do sistema respiratório. Uma exposição longa a esta fracção (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>) têm sido associada a doenças respiratórias e cardiovasculares. Investigações recentes sugerem que as partículas de diâmetro inferior a 10µm estão relacionadas com mortalidade infantil (Kappos *et al.*, 2004 in Pires, 2007a).

As partículas de maiores dimensões são, de um modo geral, as que representam menores preocupações para a saúde humana, pois não penetram tão profundamente no organismo e raramente são transportadas a grandes distâncias das fontes de emissão. No entanto, elas são frequentemente medidas sempre que o local a monitorizar se encontrar perto de uma grande fonte de partículas, como são o caso das pedreiras, das minas de carvão, das indústrias de cimento, entre outras (Vallero, 2008).

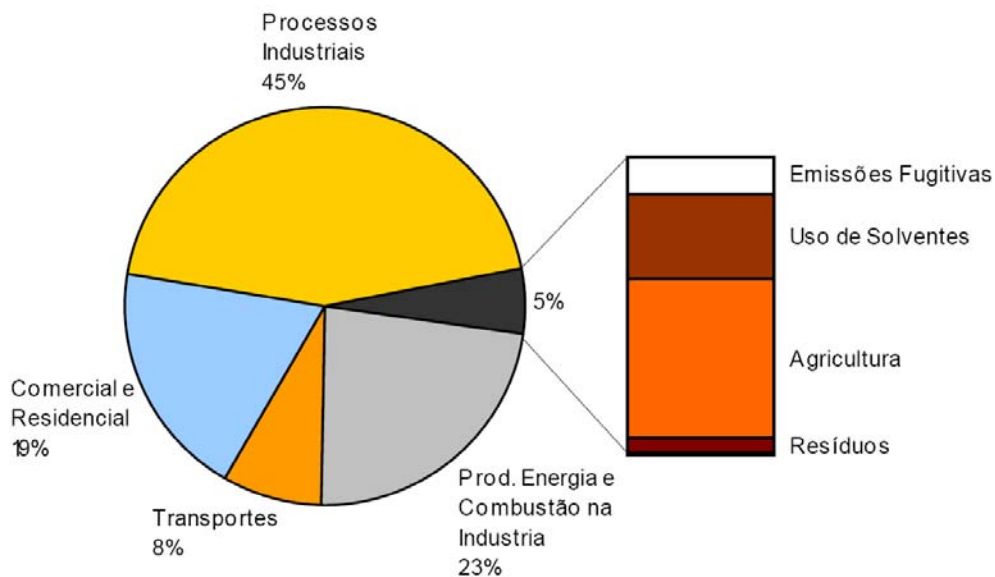
Ao nível da vegetação, a fracção fina das partículas reduz a actividade fotossintética e, consequentemente, as taxas de crescimento. A deposição deste poluente sobre os materiais pode contribuir para a sua degradação, além de que no caso dos edifícios obriga a um maior custo de limpeza e de manutenção (Vallero, 2008).



As partículas que resultam da produção do cimento podem ser prejudiciais para a saúde por contacto directo com a pele, os olhos e por inalação. Os riscos de danos para a saúde humana depende do nível de exposição e da sensibilidade de cada indivíduo. Os diferentes cimentos possuem ingredientes diferentes. Muitos deles possuem substâncias que podem ser extremamente perigosas para a saúde, como a sílica, a cal, o gesso, o níquel, o cobalto e os compostos de crómio. (Green N8 Residents Group, 2004 *in* Abdul-Wahab, 2006)

A inalação das partículas de sílica pode provocar a silicose ou outras doenças respiratórias potencialmente fatais. A inalação de compostos de crómio que estão presentes em algumas partículas que resultam da produção de cimento, podem causar cancro (Abdul-Wahab, 2006).

Em Portugal, as emissões de PM<sub>10</sub> a partir de fontes pontuais representam 33% do total de emissões deste poluente. As fontes de emissão pontual que mais contribuem para estas emissões são a produção de pasta de papel e indústria química. Segundo o relatório “Alocação especial de emissões em 2003” (APA, 2006), as actividades económicas que mais contribuíram naquele ano para as emissões de PM<sub>10</sub> foram (ver Figura 2-6): processos Industriais (45%), Produção de Energia e Combustão na Indústria (23%) e os transportes (8%).



**Figura 2-6** – Emissões de PM<sub>10</sub> em Portugal por sector de actividade.

Fonte: APA (2006).

As maiores emissões deste poluente ocorrem nos concelhos onde mais se desenvolvem as actividades indicadas no parágrafo anterior, nomeadamente: concelhos de Viana do Castelo, Aveiro, Figueira da Foz, Vila Velha de Ródão e Setúbal (devido à produção de pasta de papel); concelhos de Maia e Seixal (devido à Siderurgia); concelhos de Estarreja, Vila Franca de Xira, Barreiro, Setúbal e Sines (devido à indústria química).

O Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril (INCM, 2002), transpõe para o ordenamento jurídico interno a Directiva n.º 1999/30/CE, relativa aos valores limite definidos para a concentração de

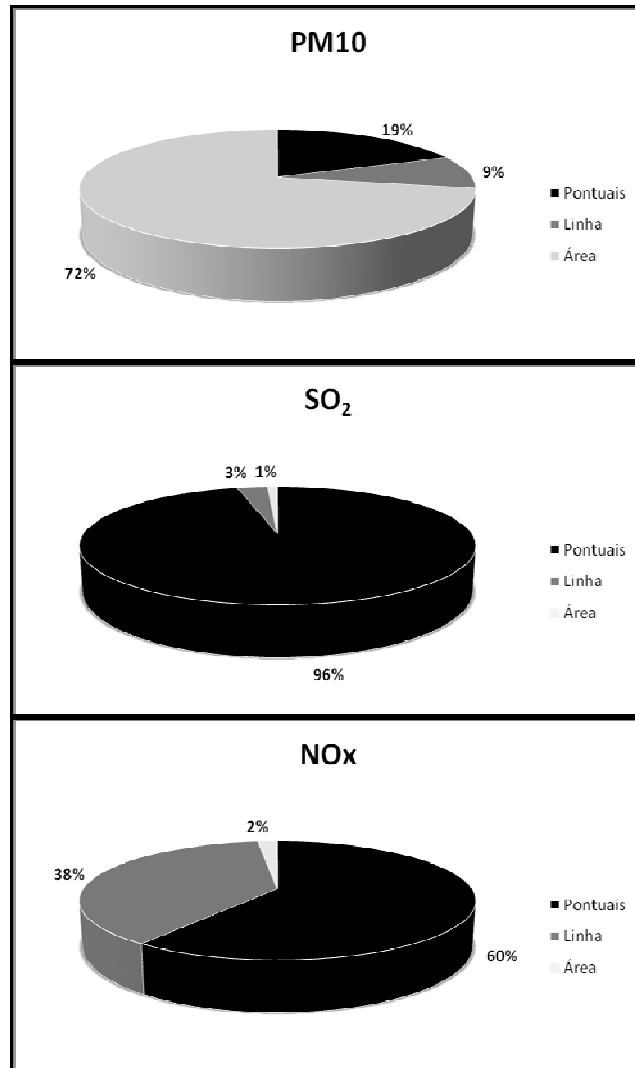
diversos poluentes na atmosfera, entre os quais as PS. Estes valores limite visam a protecção da saúde humana e devem ser atingidos em dois períodos temporais diferentes sendo que, apenas o relativo ao primeiro período, entrou em vigor para o ano 2005:

- o valor limite em base diária é de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que não pode ser excedido mais do que 35 vezes por ano;
- o valor limite em base anual é de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

À semelhança do definido para os dois poluentes anteriores, a Directiva 2008/50/CE, de 21 de Maio de 2008, vem também definir e fixar objectivos relativos à qualidade do ar ambiente destinados a evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente na sua globalidade, resultantes da poluição causada pelas  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2,5}$  (CE, 2008). Esta directiva introduz, pela primeira vez, controlos da exposição humana às partículas  $\text{PM}_{2,5}$  no ar ambiente. Estas partículas, de menores dimensões, são aquelas que representam uma ameaça mais grave para a saúde humana. A directiva aprovada no Parlamento Europeu (PE) estabelece um valor-alvo para as  $\text{PM}_{2,5}$  em 2010, a substituir por um valor-limite vinculativo em 2015 ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tanto para o valor-alvo como para o valor-limite). O PE fixou ainda um valor-limite indicativo de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para 2020.

Qualquer um dos poluentes abordados, quando libertados podem ser sujeitos a diversos processos na atmosfera, como o transporte e a dispersão em resultado da acção do vento, a transformação em resultado das reacções químicas e a deposição (húmida e seca) (Nguyen e Kim, 2006).

Na Figura 2-7 apresenta-se um exemplo da contribuição relativa de três fontes de poluição diferentes (pontuais, em linha e em área) para as emissões de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ . Esta distribuição foi determinada para a cidade de Kaohsiung, localizada na região Sul de Taiwan. Apesar de se tratar de uma cidade com características diferentes das cidades portuguesas, seja ao nível do clima e do efeito de dispersão que este exerce nos poluentes emitidos, seja também ao nível da estrutura urbana e da intensidade das actividades humanas que nela se desenrolam, considera-se que a natureza dessas mesmas actividades será semelhante. Nesse sentido, os resultados apresentados podem fornecer pistas importantes sobre a forma como aqueles poluentes se distribuem pelas fontes de poluição.



**Figura 2-7** – Distribuição relativa de cada poluente por categoria de fonte de poluição.

Fonte: Tseng e Ni-Bi (2001).

Conforme se pode observar na Figura 2-7, as PM<sub>10</sub> são maioritariamente emitidas pelas fontes de emissão em área (cerca de 72%) e em menor proporção pelas fontes de emissão em linha (cerca de 9%). Em relação ao SO<sub>2</sub>, verifica-se, claramente, que são as fontes de emissão pontual as principais responsáveis pela emissão deste poluente (cerca de 96%). Já no que diz respeito ao NO<sub>x</sub>, as principais emissões repartem-se pelas fontes de emissão pontual (cerca de 60%) e as fontes de emissão em linha (cerca de 38%).

### 2.3. MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR EM ZONAS INDUSTRIAIS

Conforme já referido na introdução ao presente capítulo, neste ponto identificam-se e descrevem-se alguns dos critérios mais importantes que devem ser considerados no desenho de redes de monitorização da qualidade do ar em zonas industriais. É também feita referência a algumas das técnicas e métodos que têm sido utilizados para desenhar redes de monitorização.

O planeamento de uma RMQA implica a selecção dos locais, das frequências e dos parâmetros de amostragem. Uma rede de monitorização eficiente deverá fornecer informação suficiente mas não redundante das variáveis monitorizadas. A informação produzida pode ser utilizada para caracterizar os recursos naturais e para delinear a zona contaminada. Tendo em conta os custos elevados e os riscos associados a tais investigações, é fundamental desenvolver procedimentos que possam desenhar, ou ajustar redes de monitorização, de uma forma mais eficiente.

Os poluentes atmosféricos são emitidos por uma grande variedade de fontes de poluição, sendo posteriormente transportados e dispersados pela acção do vento na atmosfera. Por esse facto, a concentração dos poluentes na atmosfera varia no tempo e no espaço. De acordo com Elkamel *et al.* (2007), tais condições obrigam a que seja realizada uma selecção criteriosa dos locais a monitorizar, de modo a que possam fornecer informação fiável e representativa do real estado da qualidade do ar. A tarefa da escolha dos locais para a instalação das estações de monitorização reveste-se, assim, de grande importância e ao mesmo tempo constitui um verdadeiro desafio. As estações de monitorização deverão, assim, ser instaladas em locais onde melhor possam medir a distribuição dos poluentes.

Segundo Demerjian (2000), Qualquer rede de monitorização deverá ser criada e/ou reajustada de modo a:

- garantir uma adequada caracterização da qualidade do ar local e/ou regional;
- fornecer informação que permita desenvolver e avaliar estratégias de controlo;
- perceber a dispersão dos poluentes na atmosfera;
- analisar as tendências das respectivas concentrações, o risco de exposição das populações e a desenvolver e a activar sistemas de resposta a emergências

Qualquer rede de monitorização que forneça esta informação, é considerada uma ferramenta chave para a gestão e controlo da qualidade do ar.

De acordo com Venegas e Mazzeo (2006) e com Elkamel *et al.* (2007), a monitorização da qualidade do ar em zonas industriais revela-se de extrema importância, pois permite:

- medir e avaliar o grau de poluição atmosférica que ocorre junto das fontes de poluição;
- estabelecer uma base de comparação com os padrões de qualidade do ar e com os níveis de poluição registados;
- monitorizar a conformidade das fontes de poluição com os limites legais;
- avaliar a extensão da área/região afectada;
- fornecer informação para avaliar a eficácia das medidas de controlo implementadas e para onde é que devem ser canalizados os maiores esforços;
- servir de base de informação para trabalhos de investigação e avaliação dos efeitos do planeamento urbano, do uso do solo e dos transportes.

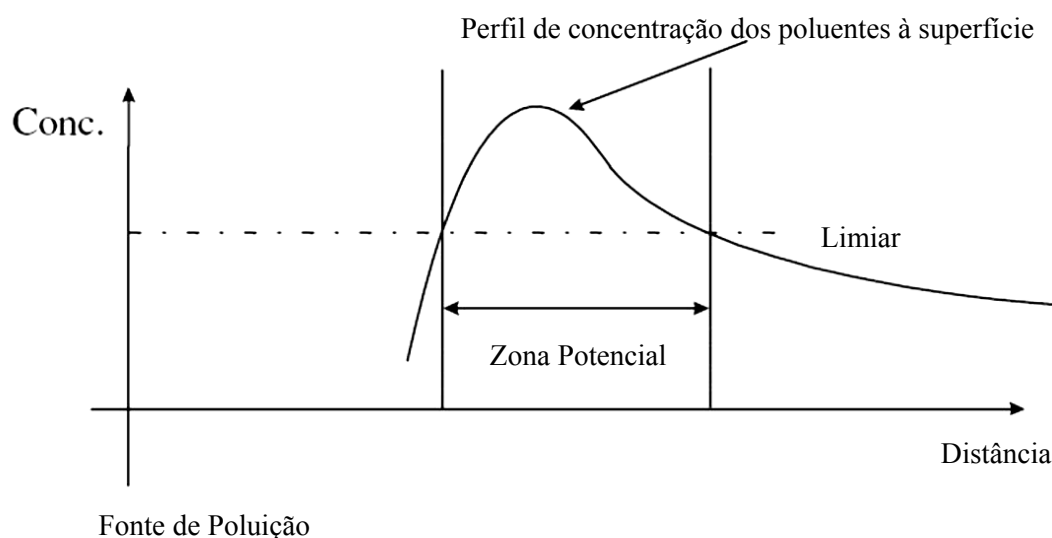
Face à importância que a poluição atmosférica tem vindo a assumir nas últimas décadas, têm sido desenvolvidos diversos estudos e metodologias destinados a apoiar a tomada de decisão na identificação dos melhores locais para a instalação das redes de monitorização e para as tornar mais eficientes. São exemplos disso os trabalhos desenvolvidos por Silva e Quiroz (2003), por Kanaroglou, *et al.* (2005), por Al-Rashidi, M.S. *et al.* (2005), por Kao e Hsieh (2006), por Elkamel *et al.* (2007).

De acordo com Tseng e Chang (2001) (*in* Elkamel *et al.*, 2007), independentemente do método escolhido para o desenho de redes de monitorização da qualidade do ar, sempre que possível, devem ser respeitados os seguintes critérios na escolha dos locais para a instalação das estações de monitorização:

- devem ser localizadas em áreas próximas de aglomerados populacionais;
- devem ser localizadas em áreas onde são esperadas as maiores concentrações dos poluentes atmosféricos;
- devem ser localizadas em áreas onde é detectada uma maior frequência nas ultrapassagens aos valores-limite;
- devem ser localizadas em locais onde se esperam que ocorra um maior desenvolvimento económico;
- devem ser localizadas junto das principais fontes de emissão industriais.

De acordo com os mesmos autores, a definição clara destes e de outros critérios, juntamente com a aplicação de modelos matemáticos e de outros métodos que permitam perceber a dispersão no espaço e no tempo dos poluentes na atmosfera, proporciona a informação necessária para determinar o número e as localizações óptimas para a instalação das estações de monitorização.

Kao e Hsieh (2006), referem que caso se verifique que as estações de uma determinada rede de monitorização não cumprem os critérios e os objectivos descritos, deverá proceder-se à sua realocação para que possam fornecer informação representativa da realidade. Estações de monitorização que se encontrem instaladas em locais inapropriados interferirão sempre com a validade dos dados recolhidos, o que poderá inviabilizar qualquer estratégia que tenha sido desenvolvida para controlo e redução da poluição atmosférica. No estudo elaborado pelos mesmos autores é referido que os níveis de poluição à superfície, entre as diferentes fontes de poluição e um determinado local, se distribuem conforme representado na Figura 2-8.

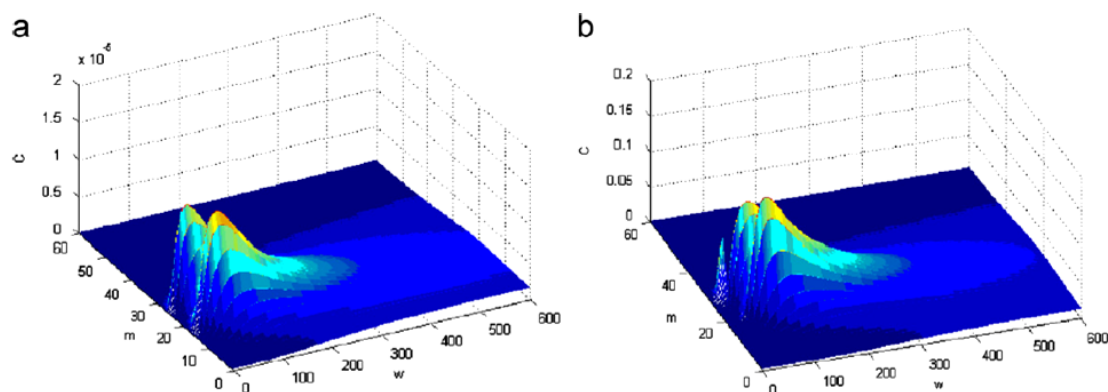


**Figura 2-8** – Perfil tipo de concentração dos poluentes à superfície do solo, após emitidos pela fonte de poluição.

Fonte: Kao e Hsieh (2006)

Os mesmos autores referem que as estações de monitorização deverão localizar-se na designada “Zona Potencial”, isto é, na zona onde se espera que ocorram os níveis mais elevados de concentração dos vários poluentes.

Elkamel *et al.* (2007) recorreu a um algoritmo heurístico para identificar os melhores locais e a melhor configuração de uma rede de monitorização na envolvente de uma refinaria. No estudo desenvolvido são apresentados perfis semelhantes ao que consta na figura anterior. A Figura 2-9 mostra o perfil da concentração de  $\text{NO}_x$  e de  $\text{SO}_2$  na área estudada.



$C$  – concentração (em  $\text{g}/\text{m}^3$ );  
 $W$  – número de células associadas ao eixo dos  $X$ ;  
 $m$  – número de células associadas ao eixo dos  $Y$ .

**Figura 2-9** – Perfis de concentração dos poluentes  $\text{NO}_x$  (a) e de  $\text{SO}_2$  (b) à superfície do solo., respectivamente.

Fonte: Elkamel *et al.* (2007).

No estudo elaborado por Vardoulakis e Kassomenos (2007) é referido que as estações de monitorização devem estar localizadas a mais de 200 metros das principais vias de comunicação, de locais confinados onde a dispersão de poluentes pode ser reduzida, e de áreas perto da linha de costa, de modo a registarem correctamente o efeito que as principais fontes de poluição têm sobre a qualidade do ar.

Em termos práticos, e de acordo com Venegas e Mazzeo (2006), o número e a distribuição das estações de monitorização da qualidade do ar de uma qualquer rede de monitorização dependem da área total a monitorizar, da variabilidade espacial, do tipo de poluentes a medir e das utilizações a dar aos dados recolhidos. De qualquer modo, o principal objectivo será sempre de maximizar a cobertura espacial e a representatividade da informação recolhida.

Têm sido diversos os modelos estatísticos aplicados ao desenho de sistemas de monitorização com o objectivo de os tornar o mais representativos possível da qualidade do ar da região a analisar. Muitos destes modelos foram desenvolvidos para fontes de poluição locais (Noll *et al.*, 1977, Noll e Mitsutomi, 1983, Mazzeo e Venegas, 2000 *in* Venegas e Mazzeo, 2006) e outros para fontes de poluição em área, como são o caso as áreas urbanas (Elsom, 1978, Venegas e Mazzeo, 2003c *in* Venegas e Mazzeo, 2006). Alguns métodos que têm sido utilizados correspondem a: correlação espacial (Elsom, 1979, Handscombe e Elsom, 1982, *in* Venegas e Mazzeo, 2006); redução da variância Monte-Carlo (Nakamori *et al.*, 1979 *in* Venegas e Mazzeo, 2006); e técnicas estatísticas baseadas nas medidas de informação de Fisher (Husain e Khan, 1983 *in* Venegas e Mazzeo, 2006).

A avaliação estatística da informação recolhida pelas estações de uma determinada rede de monitorização, foi também utilizada por Pickett e Whiting, 1981 (*in* Elkamel *et al.*, 2007) para avaliar a respectiva eficiência.

Em Portugal foi desenvolvido um estudo intitulado de “*Management of air quality monitoring using principal component e cluster analysis—Part I: SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>*” (Pires *et al.*, 2007), que teve como principal objectivo avaliar a performance de alguns métodos estatísticos na melhoria da eficiência da RMQA em funcionamento na Região Metropolitana do Porto. Este estudo teve como objectivos específicos identificar áreas na cidade com comportamentos semelhantes, em termos de poluição atmosférica, e localizar as fontes de poluição atmosférica. Para tal, foram aplicadas duas técnicas estatísticas (Análise de Componentes Principais – ACP e Análise de Clusters - AC) às concentrações de SO<sub>2</sub> e de PM<sub>10</sub> registadas pela rede de monitorização existente. Os autores desse estudo, apenas tiveram conhecimento da aplicação desses dois métodos estatísticos à qualidade do ar numa investigação levada a cabo por Gramsch *et al.* (2006).

Na análise dos resultados obtidos, os autores do estudo referem que os comportamentos diferentes da poluição do ar registados nas diferentes estações de monitorização relacionam-se, fundamentalmente, com a localização geográfica das principais fontes de poluição atmosférica e com a variabilidade que se verifica na direcção dos ventos ao longo da região analisada. Verificou-se que as áreas da cidade com comportamentos específicos de poluição encontram-se abrangidas por demasiadas estações de monitorização, o que resulta em informação redundante e, consequentemente, um funcionamento

ineficiente da RMQA. Concluem referindo que a ACP e a AC possuem um grande potencial no apoio à gestão dos sistemas de monitorização da qualidade do ar.

De acordo com Demerjian (2000), as estações destinadas a monitorizar as emissões de uma determinada fonte de poluição pontual, devem ser consideradas como estações de verificação. Estas correspondem a estações que se encontram localizadas na vizinhança das maiores fontes de poluição atmosférica, idealmente, a menos de uma hora e a não mais do que três horas de distância. Constituem exemplo deste tipo de estações de monitorização, as que pertencem à Fábrica da SECIL-Outão.

Finalmente, segundo Silva e Quiroz (2003) que são diversos os factores que podem influenciar os registos efectuados pelas estações de monitorização da qualidade do ar, e que os mesmos devem ser tidos em consideração na avaliação da eficácia da configuração e localização das respectivas redes de monitorização. Entre outros factores referem-se os seguintes:

- A presença de grandes e pequenas unidades industriais;
- A presença de aglomerados urbanos;
- A dimensão e características dos sistemas de transporte públicos e privados utilizados;
- As condições meteorológicas;
- Características topográficas da região.

## **2.4. INFLUÊNCIA DE FENÓMENOS NATURAIS NA QUALIDADE DO AR**

São diversos os fenómenos naturais que podem afectar significativamente a qualidade do ar de um determinado local e/ou região:

- Fenómenos naturais locais: deslocações de massas de ar na atmosfera, que resultam na formação de ventos fortes com capacidade para ressuspender e transportar, pela atmosfera, uma grande quantidade de matéria particulada; aerossóis formados pelos oceanos nas zonas costeiras, que têm capacidade para influenciar os níveis de concentração de PS na atmosfera;
- Fenómenos naturais cujo raio de acção pode estender-se à escala continental ou mesmo global, como é o caso da matéria particulada que é emitida em grandes quantidades durante actividades vulcânicas intensas, e das poeiras que têm origem em algumas das zonas áridas mais extensas do planeta (como por exemplo o deserto do Sahara) que podem ser transportas e depositadas em locais muito distantes da sua origem.

Descrevem-se, de seguida, diversos estudos que comprovam a influência que esses fenómenos naturais podem ter na qualidade do ar de um determinado local e/ou região.

Nos estudos desenvolvidos por Beguma, *et al.* (2004) e por Vardoulakis e Kassomenos (2007), é evidenciada a influência dos aerossóis formados pelo mar nas concentrações de PS que são registadas nas estações de monitorização. Esses autores consideram que a brisa marítima pode exercer um



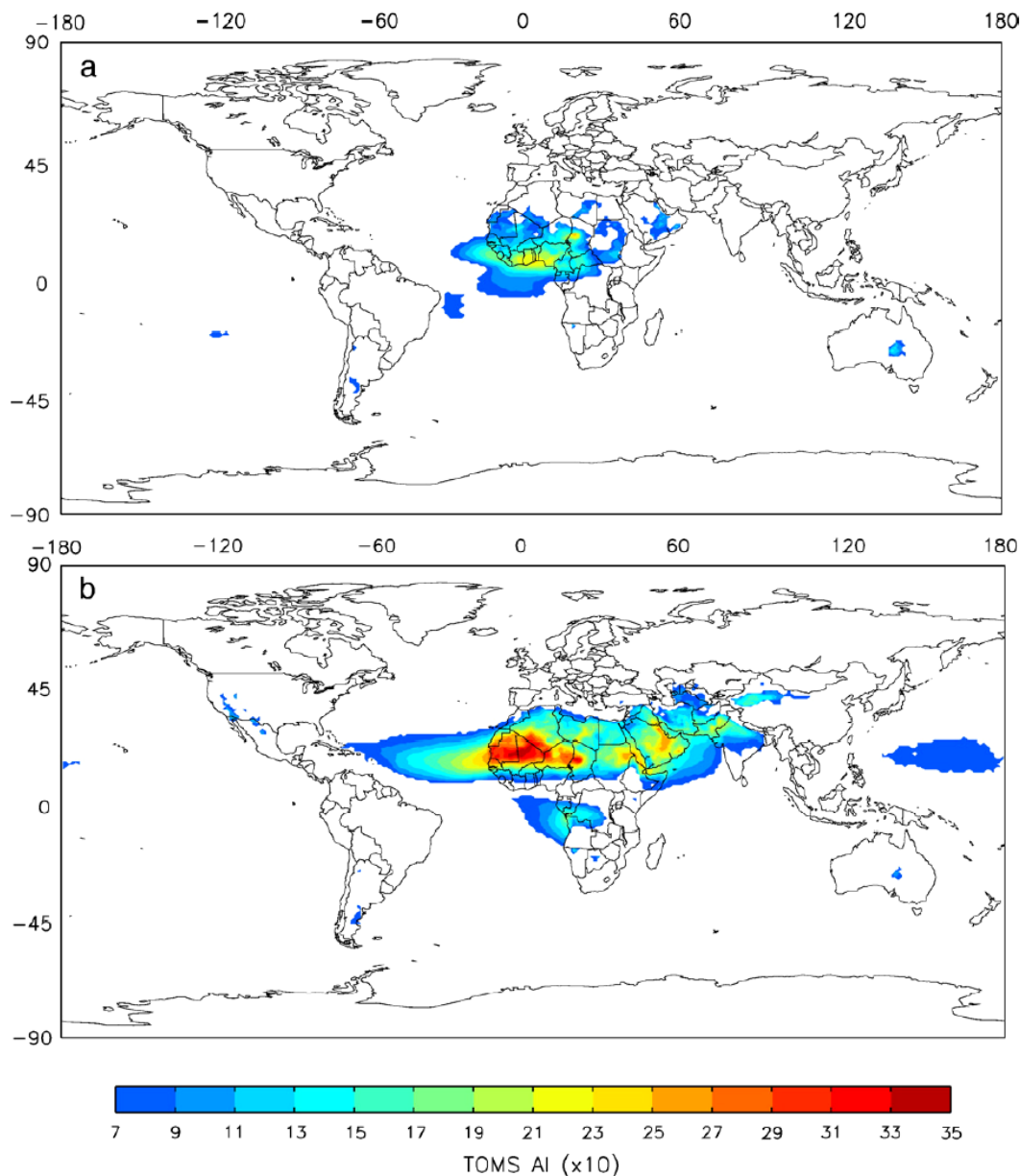
impacte negativo na qualidade do ar. Este aspecto é também analisado e evidenciado através de métodos estatísticos utilizados por Koelemeijer, *et al.* (2006).

Lenschow *et al.* (2001) (*in* Vardoulakis e Kassomenos, 2007) desenvolveu um estudo onde analisa a distribuição das fontes de poluição de  $PM_{10}$  na cidade de Berlim, através da comparação da composição química das partículas que foram colhidas nas estações urbanas e rurais de fundo. Este estudo concluiu que cerca de 50% das  $PM_{10}$  recolhidas nas estações urbanas de fundo estão relacionadas com fontes de emissão naturais e associadas ao transporte de longa distância.

De acordo com Kukkonen *et al.*, 2005 (*in* Vardoulakis e Kassomenos, 2007) apesar de se assumir que os ventos fortes contribuem para a dispersão da poluição atmosférica local, eles podem também contribuir para ao aumento dos níveis de  $PM_{10}$  em determinadas condições meteorológicas, devido à ressuspensão das partículas do solo e das poeiras que se encontram depositadas nas vias rodoviárias.

De acordo com Engelstaedter, *et al.* (2006), o Norte de África é uma das regiões que mais produz/emite poeiras para atmosfera, com consequências sobre a qualidade do ar à escala regional e global. A ocorrência de variações nas quantidades totais de poeiras emitidas podem ter consequências no clima regional a global, nos ciclos bioquímicos, e nas regiões habitadas pelo Homem.

Alguns dos estudos que recorrem a imagens de satélite, confirmam que as poeiras emitidas pelos desertos como o Sahara podem ser transportados ao longo de grandes distâncias pela atmosfera, afectando a vida, os ecossistemas e o clima, em locais muito afastados das fontes de emissão. Estes estudos referem também que por observação das imagens de satélite, as emissões das poeiras no Norte de África segue um ciclo anual bem definido (Engelstaedter, *et al.*, 2006). Na Figura 2-10 apresenta-se a distribuição de PS na atmosfera, em dois períodos diferentes, para todo o mundo. A distribuição foi obtida recorrendo a um produto de detecção remota designado de TOMS AL (“Total OzoneMapping Spectrometer absorbing Aerosol Index”), (Herman *et al.*, 1997 *in* Engelstaedter, *et al.*, 2006).



**Figura 2-10** – Média sazonal de TOMS AI ( $\times 10$ ) (1980–1992) para o período de (a) Novembro–Janeiro e de (b) Maio–Julho.

Fonte: Engelstaedter, *et al.*, 2006

Conforme se pode observar, a região do Sahara destaca-se claramente quer em magnitude quer na extensão espacial, das PS na atmosfera. Esta região é considerada a fonte de poeiras mais activa do planeta; contudo a sua contribuição está maioritariamente confinada ao hemisfério norte e aos meses mais quentes.

Gobbi, *et al.* (2007) chegaram à conclusão que as poeiras provenientes do Sahara influenciaram os níveis de concentração de PS registados na cidade de Roma, em aproximadamente 30% dos dias do ano de 2001. Verificaram também que nesses dias a contribuição média das poeiras para os níveis de  $PM_{10}$  foi na ordem dos  $20 \mu g/m^3$ . Finalmente, foi constatado também que numa estação localizada na

periferia da cidade de Roma, as poeiras provenientes do Sahara foram responsáveis por se ter ultrapassado o número máximo de dias (35 dias) em que foi violado o valor limite de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , definido pela legislação em vigor.

No estudo elaborado por esse mesmo autor é referido mesmo que toda a região Euro-Mediterranea é fortemente afectada pelas poeiras que são emitidas para a atmosfera no deserto do Sahara. É referido também que são emitidas e transportadas maiores quantidades de poeiras entre a Primavera e o Outono e que é no Inverno quando ocorrem menos desses episódios.

Outro aspecto importante que é referido por d'Almeida *et al.*, (1991) e por Raes *et al.*, (2000) (*in* Gobbi, *et al.*, 2007) é o facto das poeiras provenientes do deserto, juntamente com os aerossóis oceânicos, constituírem as fontes naturais que mais contribuem para a emissão de PS para a atmosfera. Não obstante, enquanto que o impacte causado pelos aerossóis marinhos está limitado às zonas costeiras, as poeiras oriundas dos desertos chegam a ser transportadas por milhares de quilómetros desde o local em que são emitidas. Tal deve-se à rapidez com que as partículas são transferidas para a troposfera, em resultado da combinação de uma actividade convectiva intensa com os ventos típicos das regiões áridas.

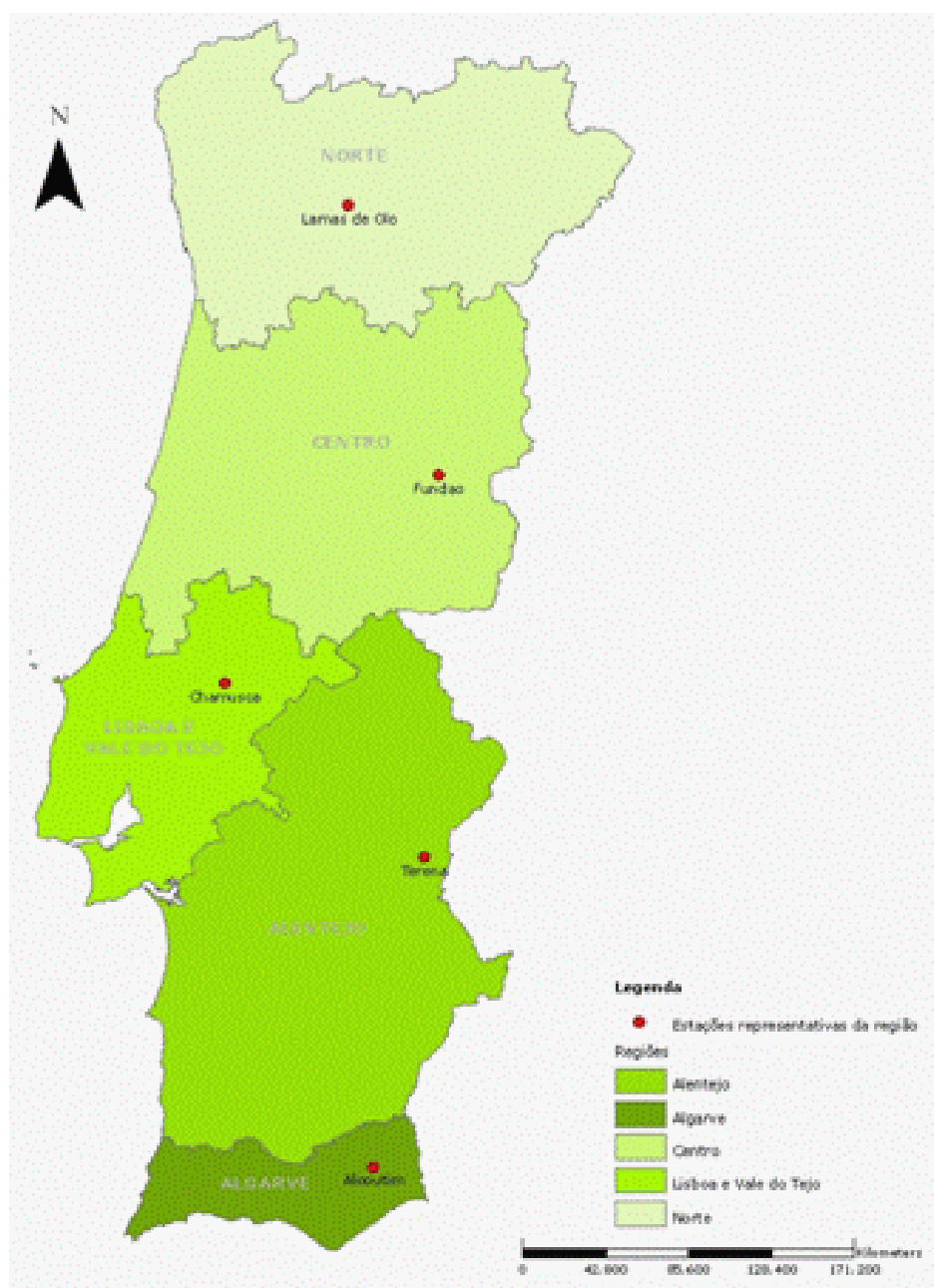
Por todos os factos expostos, é de esperar que as partículas minerais desempenhem um papel importante nos valores de massa total de partículas que são registados ao nível do solo na região Euro-Mediterranea (e.g., Guerzoni *et al.*, 1997; Querol *et al.*, 2001; Rodriguez *et al.*, 2001 *in* Gobbi, *et al.*, 2007). Nesse sentido, e como as medições de  $\text{PM}_{10}$  não diferenciam a poluição que é causada pelas fontes naturais, é de esperar que os registos efectuados pelas estações de monitorização possam não representar, correctamente, a realidade em matéria de qualidade do ar local e regional, que é causada pelas fontes de poluição que resultam da actividade humana.

Em Portugal este fenómeno tem sido alvo de diversos estudos, sendo mesmo acompanhado anualmente pela APA, através de estudos solicitados à FCT/UNL. A necessidade de identificação e avaliação de fenómenos naturais com influência nos níveis de qualidade do ar, decorre do cumprimento das exigências legislativas de qualidade do ar, que limita as excedências permitidas ao valor limite diário de  $\text{PM}_{10}$ . No relatório que é publicado anualmente pela APA são avaliados dois eventos considerados naturais, isto é, a contribuição da intrusão de ar proveniente do Norte de África e os fogos florestais. Nesse relatório é identificado o número de dias em que se verificou a contribuição de episódios relativos a cada evento natural.

Ainda antes de continuar com a descrição dos aspectos abordados naquele estudo, convém salientar que existem cada vez mais evidências em estudos científicos que os fogos florestais resultam, fundamentalmente, da actividade humana e não de ocorrências naturais.

Os eventos naturais com origem na intrusão de ar proveniente do Norte de África, são caracterizados a uma escala continental, e denominam-se por fenómenos de larga-escala. No referido estudo, a detecção e a quantificação da intrusão de partículas de ar africano em Portugal é feito com base em estações representativas que estão associadas a secções regionalizadas (ver Figura 2-11). A avaliação

de cada secção é feita com base numa estação rural de fundo, dado ser esse tipo de estações que representam a qualidade do ar livre da influência de fontes antropogénicas.



**Figura 2-11** – Secções regionais e estações representativas utilizadas para a quantificação da contribuição de eventos naturais no território continental.

Fonte: APA (2006).

A secção regional onde se encontra a área que alvo de estudo do presente trabalho designa-se de Região de Lisboa e Vale do Tejo (RLVT), e a estação representativa localiza-se na Chamusca.

No ano de 2006, foi registado naquela estação um total de 60 dias em que ocorreram episódios de intrusão de ar proveniente do Norte de África. O maior número de dias de intrusão ocorreram em Maio e em Julho. No Quadro 2-1 identificam-se as datas em que ocorreram esses episódios.

**Quadro 2-1** – Datas de ocorrência dos episódios de intrusão de ar proveniente do Norte de África no ano de 2006. Fonte: APA (2006).

Jan	Fev	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
—	10-14	4	14-17	1	10-21	—	5-10	10	1-2	28-31
		24-27	26-31	6-9				28-31	15	
				13-15					24-25	

No estudo publicado pela APA, a metodologia de cálculo da contribuição das  $PM_{10}$  transportadas nos episódios de advecção de poeiras do Norte de África é calculada do seguinte modo: para cada dia identificado como dia de evento natural, é determinado o percentil 30 dos 30 dias centrados no dia de evento (sendo o dia de evento o 15.º e não inclui o valor registado neste dia); a diferença entre o valor de  $PM_{10}$  registado no dia de evento e o percentil 30 desse dia corresponde à contribuição de  $PM_{10}$ . Com base nos resultados obtidos, verifica-se que o número de excedências do valor limite diário de  $PM_{10}$  ( $>50 \mu g/m^3$ ) sofre uma redução substancial. A título de exemplo, na estação Quebedo (localizada na cidade de Setúbal) registaram-se 62 dias de excedências, contudo quando aplicado o desconto de  $PM_{10}$  com origem no episódio de evento natural, as excedências foram reduzidas a 41 dias.

No que diz respeito à contribuição dos incêndios florestais para os níveis de partículas, o mesmo estudo refere que o impacto desse fenómeno na qualidade do ar de um local depende da proximidade da zona de deflagração à área de estudo e da área ardida. Caso uma estação de monitorização de qualidade do ar se encontre muito próximo da zona de deflagração, os níveis de partículas registados podem sofrer aumentos significativos. A Figura 2-12 representa uma ampliação de uma imagem de satélite para a região do Porto Litoral, obtida no dia 7 de Agosto de 2006.



**Figura 2-12** – Imagem do Satélite Terra obtida dia 7 Agosto de 2006, ampliada para a região do Porto Litoral.

Fonte: APA (2006).

Conforme se pode observar, os vários fogos ocorridos na área próxima ao Porto Litoral exerceram uma forte influência na área a Oeste da sua ocorrência. O sentido de propagação do fumo de incêndio deu-se no sentido Oeste-Sudoeste.

De acordo com os valores apresentados no referido estudo, não foram registados dias de fogo florestal com influência na aglomeração de Setúbal, pelo que nenhuma das excedências registadas nas estações de monitorização aí localizadas, estão relacionadas com este tipo de ocorrências.

## **2.5. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE CADA FONTE DE POLUIÇÃO NO ESTADO DE QUALIDADE DO AR**

De acordo com Choi e Ehrman (2004), o processo de identificação e de associação dos poluentes na atmosfera às respectivas fontes de poluição, é fundamental para a gestão da qualidade do ar. De facto, e conforme já foi referido, para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão da qualidade do ar é fundamental identificar as fontes de poluição atmosférica e estimar a respectiva contribuição para a atmosfera (Hsu, *et al.*, 2003).

Com vista à localização de fontes de poluição, têm vindo a ser desenvolvidos diversos modelos e métodos estatísticos que combinam informação meteorológica com os registos das concentrações de poluentes, efectuados em estações de monitorização da qualidade do ar. Segundo os autores referenciados no parágrafo anterior, a maioria dos modelos desenvolvidos têm sido utilizados para localizar fontes de poluição que se encontram relativamente afastadas dos receptores sensíveis (por vezes a centenas de quilómetros de distância), e apenas alguns têm sido utilizados para localizar as fontes mais próximas.

De facto, o reduzido número de artigos disponíveis para consulta parece sugerir que este tema não foi alvo de tantos estudos, como foram os temas descritos nos pontos anteriores. Não obstante, os poucos trabalhos consultados sugerem diversas abordagens e técnicas para avaliar a contribuição de cada fonte de poluição atmosférica para a qualidade do ar.

De acordo com Ferreira (1998), a tarefa de avaliar a eficiência e a resposta de uma determinada estação de monitorização da qualidade do ar pode envolver duas abordagens principais: uma análise estatística ou a validação de modelos. Embora a segunda abordagem seja a mais utilizada, a combinação das duas é preferível. Não obstante, quando os dados meteorológicos não são de grande fiabilidade, poderá ser difícil garantir a qualidade dos resultados. Um desses casos é quando a área de influência da estação está sujeita ao efeito de aerossóis marítimos.

Um dos principais objectivos do estudo realizado pelo autor referido no parágrafo anterior, consistiu em apresentar e testar uma metodologia estatística, onde a combinação de dados meteorológicos com dados de emissões de poluentes (de uma determinada fonte de poluição) e com dados de qualidade do ar, obtidos a partir de estações de monitorização, podem ser utilizados para perceber as necessidades de monitorização. Com os resultados obtidos, a decisão de manter ou relocalizar as estações de monitorização que estão associadas a uma determinada fonte de poluição do ar, poderá ser facilitada e melhor justificada. A metodologia desenvolvida envolveu a combinação de três técnicas estatísticas: ACP, ANOVA e correlação espacial e temporal.

De acordo com o mesmo autor, a técnica da ANOVA pode ser muito útil na análise estatística dos dados da monitorização da qualidade do ar, pois permite identificar diferenças significativas entre as emissões de fontes de poluição e a respostas dadas pelas estações de monitorização.

A correlação espacial e temporal revela-se também uma técnica estatística muito útil pois quando os dados são registados simultaneamente em diferentes estações de monitorização, é possível calcular um coeficiente de correlação das amostras entre essas estações, de modo a avaliar a necessidade de cada estação. Esta informação revela-se relevante na medida em que os recursos utilizados na monitorização podem ser poupados e utilizados de forma mais eficientemente.

No estudo realizado por Vardoulakis e Kassomenos (2007) foram também aplicadas técnicas estatísticas para melhor perceber as fontes locais e remotas de PTS, bem como os factores que influenciam a sua variabilidade temporal e espacial em áreas urbanas. Os autores recorreram a três técnicas:

- Correlação de Pearson;
- ACP;
- Análise de regressão.

A primeira técnica destinou-se a correlacionar os valores das concentrações das PTS com os valores das concentrações de outros poluentes ( $\text{NO}_x$ , CO e  $\text{O}_3$ ) que se sabe que estão associados a determinadas fontes de poluição atmosférica.

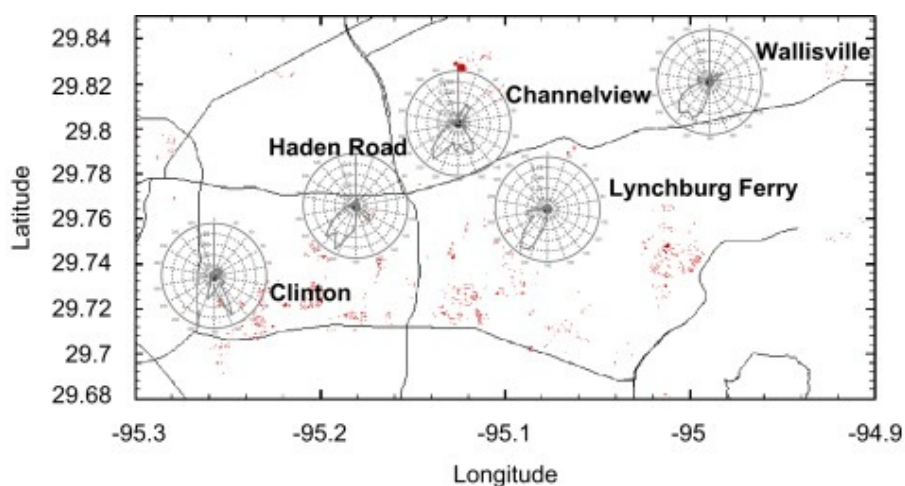
As duas últimas técnicas foram usadas para quantificar a contribuição das fontes de poluição atmosférica que não estejam relacionadas com a queima de combustíveis, para identificar os níveis de concentração de fundo das PTS. A ACP, foi utilizada para identificar os principais grupos de poluição atmosférica através dos dados recolhidos em alguns estações de monitorização. Esta técnica tem a capacidade de reduzir as variáveis originais de um grande volume de dados para um número reduzido não correlacionado de componentes principais, que explicam a maior fracção da variância total.

No estudo realizado por Xie e Berkowitz (2007) é demonstrada a utilidade de outras três técnicas estatísticas para identificar fontes de poluição e os trajectos percorridos pelos hidrocarbonetos na atmosfera, medidos em cinco estações de monitorização da qualidade do ar.

As três técnicas utilizadas foram:

- Funções de Probabilidade Condicional (FPC);
- Funções de Contribuição Potencial de cada Fonte de Emissão (FCPFE);
- Análise Hierárquica de Clusters (AHC).

A análise realizada com base nas FPC foi desenhada para combinar a informação direccional do vento com os valores elevados de concentração de um determinado poluente (maiores que o percentil 75 de todos os valores observados no mesmo período de tempo). Os resultados deste método são normalmente apresentados num gráfico com coordenadas polares, a distância radial é definida pela magnitude do valor da FPC e o ângulo deriva da direcção do vento associado aos valores de concentração mais elevados do poluente considerado. Na Figura 2-13 são apresentados os gráficos elaborados, que consistem basicamente em rosas-dos-ventos com os níveis de poluição fotoquímica.



**Figura 2-13** – Apresentação gráfica dos resultados obtidos com as FPC.

Fonte: Xie e Berkowitz (2007).

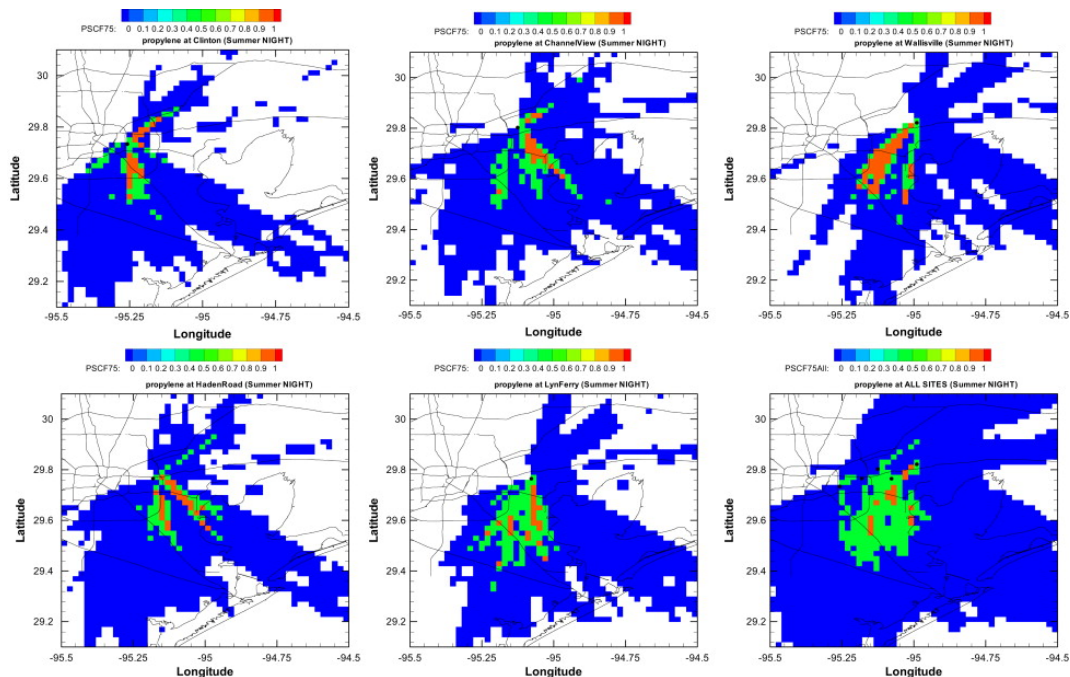
A AHC recorre a uma técnica comum de partição dos dados em grupos (ou clusters), mediante a similaridade das observações dos objectos e de modo a que o conjunto de dados de cada grupo partilhem de uma característica comum. No estudo elaborado foi utilizado um algoritmo de



hierarquização dos clusters para medir, quantitativamente, as similaridades dos padrões da FPC nas estações de monitorização, e para definir grupos do poluente analisado com padrões similares de FPC. Os resultados da hierarquização dos cluster foram apresentados na forma de dendograma.

A análise realizada com base na FCPFE baseia-se em séries temporais das parcelas de ar simuladas a partir dos dados obtidos em cada estação de monitorização. As trajectórias utilizadas basearam-se na direcção do vento à superfície e nas velocidades medidas em cada 5 minutos. Estas trajectórias foram obtidas a partir de um modelo cinemático simples. Os resultados constituem apenas séries temporais da latitude e da longitude para cada 5 minutos, mostrando a localização das parcelas simuladas. Este método tem origem no designado método RTA, que é utilizado para localizar as fontes de poluição e para identificar os trajectos das PS e das várias espécies de aerossóis. De facto esse método foi desenvolvido e utilizado especialmente para identificar fontes de emissão remota, contudo tem vindo também a ser utilizado na identificação de fontes pontuais (Hsu *et al.*, 2003 in Xie e Berkowitz, 2007).

Para o estudo em causa, a FCPFE é definida como a probabilidade de uma parcela de ar com uma elevada concentração do poluente analisado chegar à estação de monitorização, depois de se ter movimentado através de uma grelha de células específica (Figura 2-14).



**Figura 2-14** – Apresentação gráfica dos resultados obtidos com as FCPFE para cinco estações de monitorização e da combinação desses mesmos resultados.

Fonte: Xie e Berkowitz (2007).

Outro estudo ainda, realizado por Choi e Ehrman (2004), aplicou outra técnica para localizar as fontes de emissão de poluentes atmosféricos. O método consiste num modelo de receptores, que fornece informação sobre as fontes de emissão e a sua contribuição para a poluição atmosférica. Este método, também já aplicado por Beguma, *et al.* (2004), recorre a medições da concentração dos poluentes nos locais de recolha de amostras para localizar as fontes de emissão de poluentes.

Existem ainda outras abordagens que podem ser utilizadas na aplicação deste método, e que foram bem sucedidas em outros estudos. São exemplo de outras abordagens o Balanço Mássico Químico e o Modelo de Receptores Multivariado. O primeiro método exige o conhecimento das composições químicas e mássicas dos gases emitidos por todas as fontes de poluição relevantes. O segundo, não exige à partida aquela informação, requerendo apenas dados de medições efectuadas na região em estudo e traçadores das fontes de emissão conhecidas para interpretar os factores (Kavouras *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2001; Dillon e Goldstein, 1984 *in* Choi e Ehrman, 2004).

Alguns dos modelos de receptores multivariados que têm sido utilizados são: a já descrita ACP; a análise de factores seguida da regressão linear múltipla (Hopke, 1991 *in* Choi e Ehrman, 2004). Segundo estes autores, a aplicação da tradicional análise de factores pode revelar-se problemática, pois este método pode produzir uma grande variedade de soluções, que são consideradas válidas do ponto de vista estatístico, mas que, fisicamente, são inválidas.

Tem havido também alguns desenvolvimentos e melhorias nos modelos multivariados de receptores, como a matriz de factorização positiva (MFP) e o UNIMIX. Estes modelos foram introduzidos recentemente na análise das fontes de poluição atmosférica e a sua utilidade para esse propósito tem vindo a ser avaliada (Miller *et al.*, 2002a, b; Chen *et al.*, 2002; Wu e Pratt, 2002; Poirot *et al.*, 2001 *in* Choi e Ehrman, 2004).

No estudo realizado por aqueles autores, foi utilizado o modelo de receptores desenvolvido por Henry (2001), mais especificamente a versão 2.4 do UNIMIX, para determinar as possíveis fontes de poluição e a sua contribuição para as concentrações atmosféricas de COV.

Outro estudo ainda (Kima e Hopke, 2004), recorreu às FPC e a Regressões Não-Paramétricas (RNP) para identificar a direcção das fontes de poluição de PM<sub>2,5</sub> através da utilização dos valores de concentração registados em diversas estações de monitorização. De acordo com esses autores, a FPC estima a probabilidade de excedência de um limiar predeterminado, a partir de uma dada direcção do vento, em resultado da poluição atmosférica que pode ser causada por uma determinada fonte de poluição pontual. A RNP é um modelo de regressão sem parâmetros, na medida em que estima os valores esperados de concentração dos poluentes no ambiente atmosférico, com a direcção do vento.

Para encontrar as direcções dos picos de concentração no ambiente atmosférico, Henry *et al.* (2002) (*in* Kima e Hopke, 2004) sugere o método RNP utilizando a Gaussian Kernel como uma alternativa não subjectiva ao usual método de gráfico de barras, que é altamente dependente da localização e do tamanho do intervalo definido para a direcção do vento. A RNP produz intervalos de uma confiança estatística, estima a localização dos picos de concentração e têm a capacidade de distinguir os picos que se encontrem em locais muito próximos.

Para analisar o impacte das fontes de emissão pontual a partir das várias direcções do vento, a FPC e a RNP são calculadas utilizando as contribuições estimadas de cada fonte de poluição a partir da MFP, juntamente com a direcção dos ventos medida em cada estação (Kima e Hopke, 2004). Também no

estudo efectuado por Kima, *et al.* (2003) foi utilizado esse método para identificar as fontes de emissão de  $PM_{2,5}$ .

Os resultados obtidos no estudo anterior, indicam que ambos os métodos (FPC e RNP) funcionam bem com fontes de poluição local conhecidas, e que podem ser utilizados para avaliar a contribuição das mesmas para as concentrações atmosféricas de  $PM_{2,5}$ .

Refere-se o estudo realizado por Hsu, *et al.* (2003) onde foram utilizados três métodos estatísticos para localizar fontes de poluição de PCB (Bifenilos Policlorados) e a sua contribuição para as concentrações atmosféricas na cidade de Chicago. Os métodos utilizados foram:

- Função da Contribuição Potencial de cada Fonte de Emissão;
- Trajectória das Concentrações;
- Tempo de Residência das Concentrações.

Os autores deste estudo referem que, quando utilizados individualmente, nenhum dos modelos consegue fornecer informação tão completa como quando são utilizados em simultâneo. Os resultados obtidos com a aplicação do primeiro e do segundo, parece que podem distinguir entre as grandes fontes de poluição pontual e as fontes de média dimensão. O terceiro método consegue resolver as fontes em área com elevado potencial de contribuição para a poluição atmosférica.

No estudo realizado por Gobbi, *et al.* (2007), são aplicados dois métodos estatísticos para identificar e caracterizar as diversas fontes de poluição das  $PM_{10}$ . Os dois métodos aplicados são a Correlação (anual e sazonal), para avaliar a relação entre as variáveis analisadas, e a Regressão Múltipla (com as  $PM_{10}$  como variável dependente), para quantificar e determinar os parâmetros que mais significativamente contribuem para os valores de  $PM_{10}$  que são registados ao longo aglomerado urbano analisado.

Finalmente, Lenschow *et al.* (2001) (*in* Vardoulakis e Kassomenos, 2007) desenvolveu um estudo onde analisa a distribuição das fontes de poluição de  $PM_{10}$  na cidade de Berlim sem recorrer a métodos estatísticos. O método utilizado foi o de comparação da composição química das partículas que foram recolhidas nas estações urbanas, regionais e rurais de fundo, para identificar as possíveis fontes de poluição.



### 3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

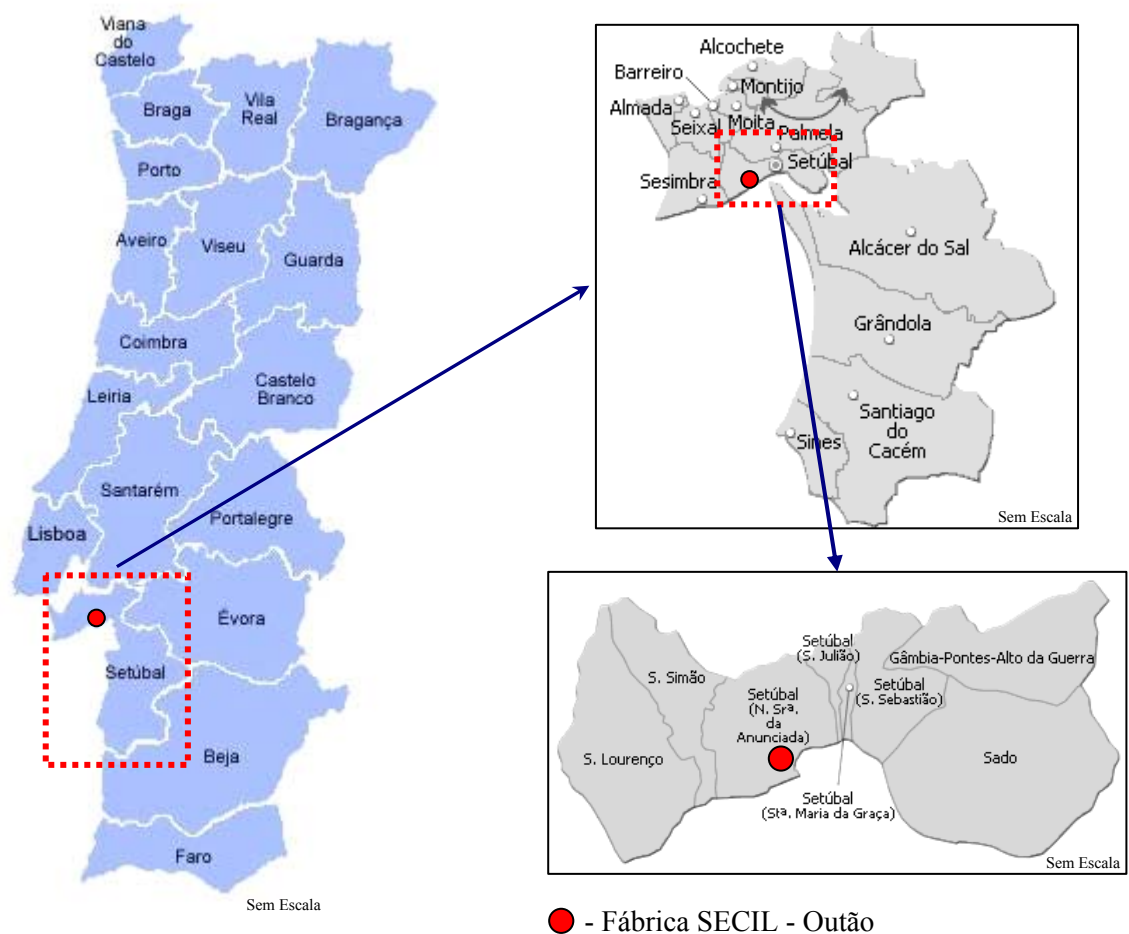
#### 3.1. DESCRIÇÃO DA UNIDADE INDUSTRIAL EM ESTUDO SECIL-OUTÃO

Neste capítulo, procede-se a uma caracterização genérica da unidade industrial seleccionada para caso de estudo. É indicado o local onde se encontra instalada, é apresentada uma breve descrição do seu processo de fabrico, das principais fontes fixas de emissões atmosféricas e dos sistemas que possui para controlar e reduzir essas emissões.

No Apêndice I é apresentado o fluxograma do processo de fabrico da Fábrica SECIL- Outão. Nesse fluxograma são indicados os principais *inputs* e *outputs* do processo.

##### 3.1.1. Localização

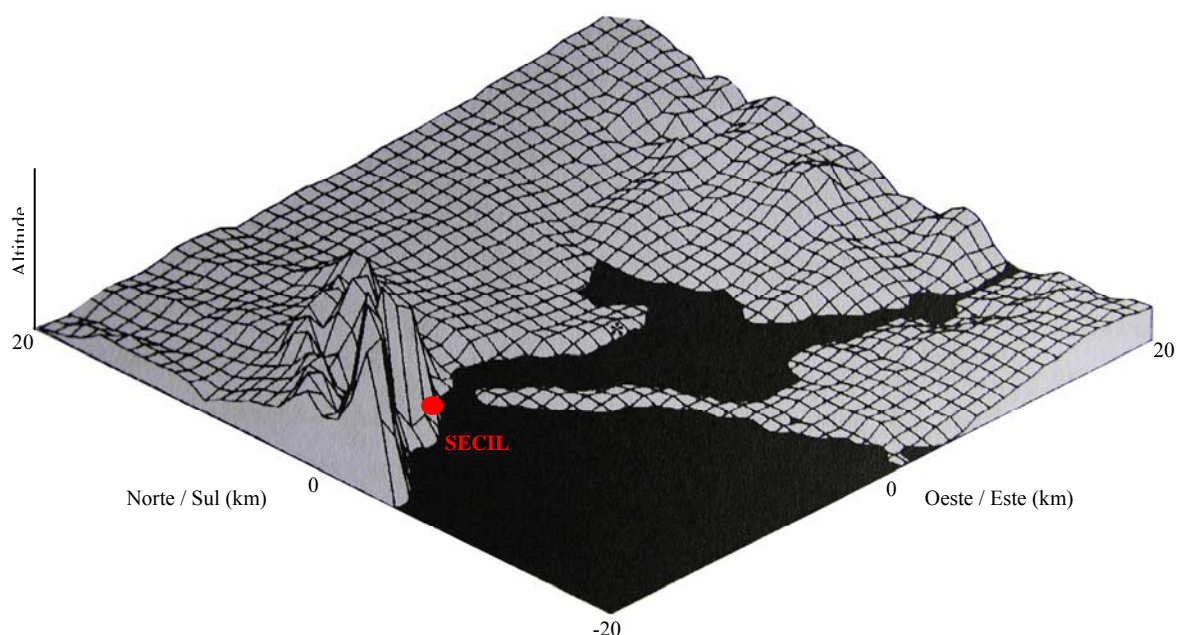
A fábrica de produção de cimento da SECIL – Outão insere-se na RLVT e na sub-região (NUTII) da Península de Setúbal. Administrativamente, no distrito de Setúbal, concelho de Setúbal e freguesia da Nossa Senhora Anunciada (Figura 3-1).



**Figura 3-1** – Localização da Fábrica SECIL - Outão.

A Fábrica da SECIL do Outão encontra-se inserida, na sua totalidade, no Parque Natural da Arrábida e no Sítio de Interesse Comunitário PTCON0010 – Arrábida / Espichel.

A Fábrica SECIL – Outão e a respectiva RMQA inserem-se numa zona com uma orografia complexa que resulta da presença da Serra da Arrábida (aproximadamente a Oeste/Sudoeste), da Serra de Louro e Serra de S. Francisco da Portela (aproximadamente a Norte/Noroeste), do oceano (a Sul) e do Estuário do Sado (a Este). Esta zona corresponde mesmo à área mais acidentada da região. Na Figura 3-2 consta um mapa da com a altimetria da região em estudo. A área a preto corresponde ao Estuário do Sado e ao Oceano Atlântico.



**Figura 3-2** – Altimetria da região em estudo.

Fonte: Ferreira (1998).

### **3.1.2. Descrição do Processo de Produção de Cimento**

Na Fábrica SECIL-Outão, o processo de fabrico pode dividir-se em seis etapas principais, designadas de:

1. Extração de Matérias-Primas e Britagem;
2. Preparação e Armazenamento das Matérias-Primas;
3. Moagem, Homogeneização e Armazenagem do Cru;
4. Cozedura ou Clínquerização (Torre de Pré-aquecimento e Fornos);
5. Preparação do Cimento;
6. Embalagem e Expedição do Cimento.

No Apêndice I encontra-se representado o fluxograma do processo de fábrica.

### **Extracção de Matérias-Primas e Britagem**

A primeira etapa tem início com a extracção das matérias-primas (marga, calcário ou argilas) cuja extracção é efectuada em pedreiras próprias, localizadas no perímetro fabril. A exploração destas pedreiras é feita a céu aberto, a partir da cota mais elevada, em patamares ou andares, sendo o desmonte efectuado com explosivos ou por meios mecânicos, criteriosamente aplicados. As pedreiras utilizadas pela SECIL – Outão encontram-se divididas em duas zonas distintas: uma correspondente à pedreira de calcário e a outra correspondente à pedreira de marga.

A primeira operação de exploração das pedreiras consiste na perfuração através da realização de furos com 10 metros de largura e 10 metros de altura, com recurso a máquinas perfuradoras. Segue-se a introdução da carga explosiva, seguida da sua explosão por detonação eléctrica devidamente temporizada. Os rebentamentos realizam-se, em média, duas vezes por semana.

Após extracção, o material apresenta-se em blocos com dimensões consideráveis, tornando-se necessário reduzir o seu tamanho a uma granulometria compatível com o transporte, armazenagem e alimentação das fases seguintes de fabrico, operação que é feita num britador. Na operação de britagem o calcário e a marga são reduzidos a uma dimensão de máxima de 90mm, num britador de martelos, com uma capacidade de britagem de 1000t/h.

### **Preparação e Armazenamento das Matérias-Primas**

A fim de evitar perdas na produção e de garantir que o trabalho se processe em regime contínuo, as matérias-primas extraídas e britadas são posteriormente armazenadas em locais próprios (dois silos de 10 000 toneladas cada e num armazém polar de 60 000 toneladas). Neste último armazém é também executada a pré-homogeneização da marga.

Os materiais adquiridos no exterior (areia e óxido de ferro) são armazenados, respectivamente, num armazém de 3 500 toneladas e de 1 500 toneladas.

Em substituição de matérias-primas naturais, a Fábrica SECIL- Outão incorpora no seu processo de fabrico de cimento determinadas matérias-primas secundárias, cujas características permitem manter a qualidade do cru e do clínquer. Estas matérias correspondem a resíduos não perigosos, normalmente inertes, que podem ser introduzidos logo no britador.

A Fábrica SECIL- Outão possui autorização para a valorização material de determinados tipos de resíduos não perigosos (R5 – reciclagem/recuperação de outras matérias inorgânicas), actualmente de acordo com a Licença Ambiental da Fábrica SECIL-Outão.

### **Moagem, Homogeneização e Armazenagem do Cru**

Após as etapas anteriores, procede-se à moagem das matérias-primas britadas de forma a obter um pó que poderá ser corrigido quimicamente. Este processo designa-se de moagem de cru, onde se obtém uma mistura finamente moída.

As matérias-primas seleccionadas e os materiais de correcção (areia e óxido de ferro) são nesta etapa dosificadas, tendo em consideração a qualidade do clínquer a produzir. Depois de definida a proporção das matérias-primas, estas são transportadas para moinhos onde se produz o cru. Para esta moagem recorre-se, normalmente, a moinhos tubulares, de duas câmaras, com corpos moentes, ou moinhos verticais de mós.

Existem dois tipos principais de moagem para a obtenção do cru, nomeadamente:

- Via seca – neste processo a matéria-prima é moída sem recurso a água, sendo fornecida ao forno, onde se processa a cozedura ou clinquerização, na forma de um pó fino, a farinha ou cru;
- Via húmida – neste processo a matéria-prima é moída juntamente com água, sendo fornecida directamente ao forno na forma de lama ou pasta. Este processo obriga a um maior consumo de energia, para proceder primeiro à evaporação da água contida na matéria-prima.

Nesta unidade industrial o processo é executado por via seca. Para obter uma maior eficiência é necessário secar previamente as matérias-primas. Para tal, é aproveitado o calor emitido nos gases de escape dos fornos que, simultaneamente, fazem o transporte do cru dos moinhos aos silos de armazenagem e fazem a secagem das matérias-primas. Para a realização dessas etapas existem dois tipos de linhas, a Linha 8 e a Linha 9.

Na Linha 8 existe um sistema de homogeneização que consistem em encher um silo com correcções de composição de hora a hora, de modo a obter sempre a composição média desejada. É na descarga do silo de homogeneização para o silo de armazenagem que se concretiza a homogeneização das diferentes camadas de cru produzido.

No moinho da Linha 8 é moído o calcário para a produção de *filler*, que é armazenado num silo e depois é transportado para moagem de cimento.

Na Linha 9 só existe um silo que funciona, simultaneamente, como silo de homogeneização e de armazenamento. O fundo deste silo está dividido em sete sectores de extracção, cada um deles com seis secções de fludificação. Isto faz com que existam 42 áreas de extracção, que são seleccionadas por meio de computador e cuja sequência de extracção é programável.

### **Cozedura ou Clínquerização (Torre de Pré-aquecimento e Fornos)**

Posteriormente, o cru é extraído dos silos de armazenagem, pesado e transportado para o sistema de pré-aquecimento (torre de ciclones), onde é aquecido pelos gases de escape resultantes da queima do combustível, para depois passar à cozedura nos fornos tubulares rotativos.

Esta etapa tem assim lugar numa instalação onde os óxidos de cálcio e outros materiais (sílica, alumina e óxido de ferro, aluminados e ferrites de cálcio), que compõem o cru, são sujeitos a temperaturas elevadas, necessárias para que se processem as reacções químicas que conduzem à clinquerização. As instalações que produzem clínquer são, actualmente, baseadas na existência de um



forno cilíndrico rotativo, colocado na horizontal, e ligeiramente inclinado, para permitir a movimentação dos materiais no seu interior. Estes fornos têm que possuir um grande comprimento para permitir a calcinação e clínquerização completa.

A produção de uma tonelada de clínquer requer uma média de 1,5 a 1,6 toneladas de matérias-primas.

A Fábrica SECIL- Outão possui duas instalações de cozedura, que estão associadas às já referidas duas linhas de produção, designadamente:

- Linha 8 – possui um forno tubular rotativo, com 5 metros de diâmetro e 80 metros de comprimento, equipado com torre de pré-aquecimento, que é constituída por quatro andares de ciclones, e dez arrefecedores planetários, Unax. Este forno tem uma produção nominal de 2 300 t/dia de clínquer;
- Linha 9 – possui igualmente um forno tubular rotativo, com 5,25 metros de diâmetro e 83 metros de comprimento. Está equipado com uma torre de pré-aquecimento que é constituída por quatro andares de ciclones e nove arrefecedores planetários, Unax. Este forno tem uma produção nominal de 3 500 t/dia de clínquer.

A torre de pré-aquecimento visa aumentar a eficiência energética e a capacidade de processamento de matéria-prima. Estas torres destinam-se a permitir a evaporação completa da água e o início da calcinação da farinha antes da entrada no forno rotativo.

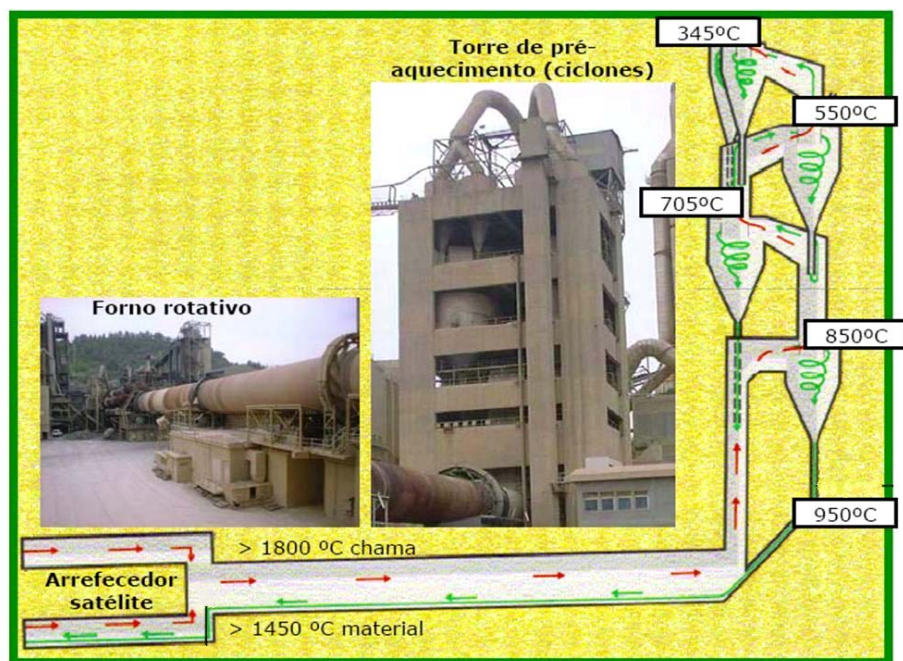
Os pré-aquecedores mais comuns no presente são constituídos por uma torre de ciclones montados em cascata, na vertical, descendo o cru da parte superior em forma de pó em suspensão, em contracorrente com os gases de queima provenientes do forno rotativo. Nestes sistemas há uma mistura íntima entre a matéria-prima e os gases de combustão, permitindo uma troca de calor eficaz. Os gases entram na base da torre de ciclones a temperaturas acima dos 800°C e saem no topo da torre a temperaturas da ordem dos 300°C.

O cru após ser retirado dos silos de armazenagem é transportado até à parte superior das torres de pré-aquecimento. A entrada do cru nos fornos é assim efectuada pela parte superior das torres de pré-aquecimento. O cru à entrada destas torres tem uma temperatura de cerca de 65°C e quando chega à sua base, na entrada do forno, possui uma temperatura de 900°C. Segue-se, por sua vez, a cozedura em cada um dos fornos. Nesta parte do processo, os materiais atingem os 2000°C, estando sujeitos a temperaturas superiores a 1450°C durante 10 segundos. Esta fase, conhecida por clínquerização, que se ocorrem as reacções entre os diferentes componentes das matérias-primas. O transporte do material através do forno faz-se pelo movimento deste e pelo seu grau de inclinação.

O clínquer sai na extremidade do forno rotativo a uma temperatura acima os 1400°C e necessita de ser arrefecido rapidamente, para poder ser manuseado e para garantir as suas características químicas cristalinas. O arrefecimento pode ser efectuada por vários mecanismos, quer através de fornos satélites quer por grades, entre outros. A Fábrica SECIL – Outão dispõe de um sistema de fornos satélites, que são formados por um conjunto de estruturas tubulares de menores dimensões (normalmente 9 a 11)

acopladas à parte final de saída do clínquer, com entradas situadas antes do fim do forno rotativo. Nestes arrefecedores o ar é introduzido em contracorrente com o clínquer. O ar aquecido é aproveitado como ar de queima secundário, permitindo uma recuperação parcial do conteúdo térmico do clínquer.

A Figura 3-3 esquematiza o processo de cozedura e de clinquerização, evidenciando as temperaturas que são atingidas ao longo do processo.



**Figura 3-3** – Esquema do forno rotativo com pré-aquecimento, evidenciando as temperaturas ao longo do processo de cozedura, dos fornos da Fábrica SECIL-Outão.

Fonte: SECIL (2007).

Para o aquecimento dos gases é utilizado um combustível num queimador principal, que está localizado na extremidade mais baixa do forno. A produção de cimento exige mesmo grandes quantidades de energia, podendo atingir cerca de 30 a 40% dos custos de produção.

A minimização do consumo de energia é conseguida através da utilização de fornos com pré-aquecedor, considerada uma Melhor Técnica Disponível (MTD); a utilização de combustíveis alternativos permite também reduzir o consumo de combustíveis fósseis.

Os fornos dispõem de queimadores de alta pressão (GRECO) permitem a queima de carvão e/ou coque de petróleo, podendo em situações de arranque queimar fuelóleo ou uma mistura destes.

O combustível sólido importado (carvão ou coque de petróleo), e recebido na fábrica, armazenado em instalação coberta e fechada (hangar de carvão) de 6 000 t de capacidade, sendo daí transportado até às moagens por cinta transportadora, e moído em dois moinhos verticais, de três rolos cada:

- Linha 8 – moinho FLS, ATOX 17,5 – capacidade de moagem: 16 t/h;

- Linha 9 – moinho FLS, ATOX 20 – capacidade de moagem 23 t/h.

Os moinhos de carvão e coque de petróleo debitam o material moído para um filtro de mangas onde este é separado da corrente de gases de transporte e enviado para os silos. Os moinhos de combustível sólido necessitam de gases quentes para o transporte e secagem do mesmo. Estes gases são fornecidos pelos fornos.

O fuelóleo é utilizado nos fornos essencialmente em situações de arranque dos fornos. A fábrica tem uma capacidade de armazenamento de fuelóleo de 3 000 t.

O consumo específico de energia térmica da Fábrica SECIL-Outão encontra-se enquadrado na gama de valores referida no BREF (*Best Available Techniques Reference Document*) do sector, que corresponde à gama de valores que apresentam as Cimenteiras Europeias com fornos rotativos de via seca equipados com ciclones de pré-aquecimento. Esta gama varia entre 3100 – 4200 MJ/t clínquer.

Além daqueles combustíveis principais (carvão, coque de petróleo e fuelóleo), são também utilizados combustíveis alternativos em substituição do combustível fóssil tradicional, que resultam da valorização energética de resíduos. A Fábrica SECIL - Outão possui a Licença de Exploração, ao abrigo do Decreto-Lei n.º 85/2005, de 28 de Abril (INCM, 2005), para operação de co-incineração de resíduos perigosos e não perigosos. Esta licença define os resíduos perigosos e não perigosos autorizados a co-incinerar na instalação, e indica também os quantitativos máximos anuais, contemplando as condições de exploração comuns à licença ambiental da fábrica.

Os resíduos não perigosos que são utilizados como combustíveis alternativos são os seguintes:

- biomassa vegetal (resíduos florestais e/ou agrícolas e resíduos de madeira);
- farinhas animais (subprodutos animais não destinados ao consumo humano);
- RDF (“Refuse Derive Fuel) também designado por combustível derivado de resíduos – composto por uma mistura de resíduos como papel/cartão, têxteis, plásticos/borrachas e madeira, triturados a uma granulometria inferior a 50mm;
- RDF (VFV) – outros resíduos incluindo misturas de materiais, do tratamento mecânico de resíduos, provenientes de Veículos em Fim de Vida (VFV), não contendo substâncias perigosas;
- Chip’s de pneus usados.

Os resíduos de maior granulometria (>300mm) são introduzidas no forno ao nível da torre de pré-aquecimento (temperatura superior a 850°C), também designada por torre de ciclones. Os resíduos de granulometria inferior a 20mm são armazenados num local coberto e introduzidos no forno directamente ao queimador principal. Os resíduos triturados e os líquidos entram no forno na zona de cozedura a 1800-2000°C (temperatura dos gases), injectados através do queimador principal.

Convém referir que, no seguimento da obtenção da licença de exploração, a Fábrica SECIL-Outão procedeu à co-incineração de lamas oleosas de fundo de depósito (Lista Europeia de Resíduos – LER 050103) entre 30/11/2006 e 23/01/2007, sendo que desde este período procede apenas à co-incineração dos resíduos não perigosos autorizados.

Embora em quantidades muito inferiores, a Fábrica SECIL - Outão utiliza ainda outros combustíveis fósseis, designadamente, o gasóleo e o propano. O primeiro é utilizado nas caldeiras de aquecimento a fluido térmico, no abastecimento de máquinas e viaturas e nos geradores de emergência da fábrica. O segundo é utilizado sobretudo para fornecimento de calor para a operação de paletização e para aquecimento de águas dos balneários e refeitório.

No Quadro 3-1 apresenta-se a energia térmica consumida na Fábrica SECIL-Outão no ano de 2005 e de 2006.

**Quadro 3-1** – Energia Térmica consumida na Fábrica SECIL-Outão em 2005 e em 2006. Fonte: SECIL.

Combustível	Energia consumida (GJ)	
	2005	2006
Coque de petróleo	5 309 196	5 241 079
Fuelóleo	69 153	105 153
Propano	6 940	7 000
Gasóleo	34	25
Combustíveis alternativos	652 395	1 096 983

Conforme se pode observar, entre o ano de 2005 e de 2006 ocorreu um aumento do consumo de energia no total. Esse aumento deveu-se, fundamentalmente, ao aumento de consumo de combustíveis alternativos (+68%) e de fuelóleo (+52%).

### **Preparação do Cimento**

O cimento obtém-se por moagem do clínquer, do gesso (regulador de prensa) e de outros aditivos, em proporções bem definidas, que podem variar consoante o tipo de cimento que se queira produzir. Esta moagem ocorre em moinhos tubulares horizontais, com corpos moentes.

O clínquer, gesso e demais aditivos são retirados dos seus locais de armazenamento e transportados, por elevadores e telas transportadoras, para as tremonhas de alimentação aos moinhos. Nesta fase do processo podem também ser utilizadas matérias-primas secundárias, nomeadamente, cinzas volantes e escórias.

Os moinhos estão distribuídos por três moagens, nomeadamente:

- Moinho IV, de 2 câmaras e circuito fechado, 3,8 m x 12,0 m, com capacidade de produção de 99t/h, dotado de filtro de mangas;
- Moinho V, de 2 câmaras e circuito fechado, 4,2 m x 14,0 m, com capacidade de produção de 150t/h, dotado de filtro de mangas;

- Moinho VI, de 2 câmaras e circuito fechado, 3,2 m x 11,0 m, com capacidade de produção de 53t/h, dotado de filtro de mangas.

O cimento produzido por estes moinhos é transportado por via pneumática e/ou mecânica e armazenado em onze silos com uma capacidade global de 50 000 t.

Nesta fase minimização do consumo de energia eléctrica é conseguida através da adopção da tecnologia de moagem em circuito fechado e com separadores de 3ª geração, considerada como MTD. A reduzida emissão de partículas é assegurada por filtros de mangas, também classificados como MTD.

### **Embalagem e Expedição do Cimento**

A comercialização do cimento pode ser feita quer a granel (em cisternas ferroviárias e rodoviárias ou em navios) quer em sacos (sobre paletes de madeira ou em pacotes plastificados). O ensacamento é feito em linhas de enchimento de sacos e de paletização ou de empacotamento automatizadas. O cimento pode ser ensacado em sacos de 25kg, 40kg e 50kg. Esta embalagem é produzida em duas linhas de paletização – plastificação com uma produção de 90t/h. A minimização da emissão de partículas é assegurada por filtros de mangas ao longo das linhas de transporte do cimento até ao contentor em que é expedido. O consumo de materiais de embalagem depende do mercado (cerca de 50% do cimento consumido no mercado nacional é ensacado), dos meios de transporte disponíveis (rodovia, ferrovia e marítimo) e de outras condicionantes.

Para além do cimento, a Fábrica SECIL – Outão pode também expedir o clínquer, normalmente por via rodoviária, com uma capacidade de carregamento global de 220 t/h. Este pode, posteriormente, ser expedido por via marítima através de cais das instalações fabris

### **3.1.3. Principais Materiais Utilizados e Produzidos**

Indicam-se no Quadro 3-2 as quantidades das principais entradas (matérias primas) no processo de fabrico da Fábrica SECIL – Outão, entre 1 de Maio de 2006 e 30 de Abril de 2007.

**Quadro 3-2** – Quantidades das principais matérias-primas utilizados na Fábrica SECIL – Outão, entre 1 de Maio de 2006 e 30 de Abril de 2007. Fonte: SECIL.

Material consumido	Quantidade (ton.)
Calcário	1.284.856
Marga	1.207.144
Areia	186.102
Óxido de Ferro	42.941
Clinker	1.406.631
Cinzas volantes	31.163
Filler calcário	3.741
Aditivo	226.694
Pó do filtro	3.747
Gesso	99.955

Além destas, foram também valorizados resíduos como matérias-primas secundárias, num total de 86,6 Mton para o mesmo período.

Em relação aos produtos, indicam-se no Quadro 3-3 os quantitativos relativos à produção de clínquer (produto intermédio) e diferentes tipos de cimento (produto final), para o mesmo período.

**Quadro 3-3** – Quantidades de clínquer e dos vários tipos de cimento produzidos entre 1 de Maio de 2006 e 30 de Abril de 2007. Fonte: SECIL.

Produto	Quantidade (ton.)
Clinker	1.620.833
Cimento II 32,5	639.375
Cimento I 42,5	290.432
Cimento IV 32,5	90.968
Cimento II 42,5	732.993
Cimento I 52,5	10.952
<b>Cimento (total)</b>	<b>1.764.721</b>

### 3.1.4. Principais Emissões Atmosféricas

Na Fábrica SECIL-Outão, as principais fontes fixas de emissões atmosféricas estão associadas às seguintes operações.

- Clínquerização (Fornos e Arrefecedores);
- Moagem de combustíveis sólidos;
- Moagem de clínquer;
- Caldeiras a gasóleo.

Os principais poluentes emitidos são as partículas. Dos fornos provêm também emissões resultantes da combustão, nomeadamente NO<sub>x</sub>, Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>) e Monóxido de Carbono (CO). No Apêndice I encontram-se indicadas as fases do processo de fabrico onde ocorrem as principais emissões atmosféricas.

A Fábrica SECIL – Outão dispõe de equipamentos de despoeiramento ao longo de toda a cadeia de fabrico, desde a extracção até à ensacagem. As poeiras recolhidas são reintroduzidas na linha produtiva, sendo recuperadas. A redução da emissão de partículas nos efluentes atmosféricos provenientes das duas linhas de produção (Linha 8 e Linha 9) é, assim, assegurada por vários sistemas de minimização de partículas, designadamente:

- Filtro de Mangas – equipamento de despoeiramento que se encontra instalados no britador da pedra, transporte e queda de materiais (desde a pedra à expedição), fornos, moinhos de cimento, moinhos de combustíveis sólidos e equipamento de secagem;
- Electrofiltros – equipamentos de despoeiramento dos gases provenientes dos fornos e moinhos de cimento, e encontram-se instalados em linha com os filtros de mangas;
- Ciclones – equipamentos de precipitação de partículas pelos gases provenientes do moinho de cru R1.

Nas Figura 3-4 e Figura 3-5 apresentam-se imagens dos electrofiltros e filtros de mangas instalados na exaustão dos fornos 8 e 9.



**Figura 3-4** – Electrofiltros dos fornos 8 e 9.

Fonte: SECIL (2007)



**Figura 3-5** – Filtro de mangas dos fornos 8 e 9.

Fonte: SECIL (2007)

Os gases de combustão utilizados para secagem da matéria-prima nos moinhos de cru, são também despoeirados nos electrofiltros e filtros de mangas, antes de serem libertados.

Os efluentes atmosféricos provenientes dos fornos são emitidos para a atmosfera por chaminé respectiva (97,8 m – Forno 8 e 85,6 m – Forno 9), cuja altura dá cumprimento às disposições legais em matéria de qualidade do ar, permitindo a dispersão adequada dos efluentes na atmosfera local.

A Fábrica SECIL – Outão tem instalado nos fornos um sistema de SNCR, que consiste na injeção de amónia nos gases de escape. Tal visa garantir a conformidade das emissões de NO<sub>x</sub> em caso potencial de ultrapassagem dos limites legais estabelecidos, devido sobretudo a situações de formação de NO<sub>x</sub> térmico.

Além das emissões pontuais ocorrem também emissões difusas que têm origem, principalmente, nas seguintes operações:

- No transporte por cintas das matérias-primas, produtos intermédios, produtos finais e combustíveis sólidos pulverulentos;
- Durante a circulação de equipamentos e viaturas nas vias de circulação;
- Locais de armazenagem de produtos de matérias-primas pulverulentas.

A Fábrica SECIL – Outão efectua a monitorização contínua e pontual das emissões dos fornos. Esta monitorização é efectuada de acordo com o plano de controlo das emissões atmosféricas – PLA02, de forma a cumprir todos os requisitos legais.

Os efluentes atmosféricos provenientes dos fornos são monitorizados em contínuo através de analisadores instalados nas chaminés dos fornos. Os parâmetros monitorizados são os seguintes: Partículas, NO<sub>x</sub>, CO (monóxido de carbono), SO<sub>2</sub>, COT (carbono orgânico total), HF (fluoreto de hidrogénio), HCl (cloreto de hidrogénio), incluindo parâmetros operacionais (temperatura, pressão, caudal, velocidade, entre outros).

Além daqueles parâmetros, são também monitorizados trimestralmente por intermédio de laboratórios externos acreditados (amostragem e ensaio), os seguintes parâmetros: metais pesados, dioxinas e furanos (Quadro 3-4).



**Quadro 3-4** – Parâmetros medidos em contínuo e pontualmente aos efluentes provenientes dos Fornos 8 e 9, quando em operação de valorização energética de resíduos. Fonte: SECIL.

Fonte Fixa	Ref. Chaminé	Equipamento de Despeiramento	Medições em contínuo	Medições Pontuais (Trimestral)
Forno 8	J8P51A9	Electrofiltro e Filtro de Mangas	Partículas, NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , COT, HF, HCL, NH <sub>3</sub>	Partículas, NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , COT, HF, HCL, Metais pesados (Cd, Hg, As, Ni, Pb, Cr, Cu, Ti, Sb, Co, Mn, V), dioxinas e furanos
Forno 9	J9P51A8	Electrofiltro e Filtro de Mangas	Partículas, NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , COT, HF, HCL, NH <sub>3</sub>	Partículas, NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , COT, HF, HCL, Metais pesados (Cd, Hg, As, Ni, Pb, Cr, Cu, Ti, Sb, Co, Mn, V), dioxinas e furanos

### 3.2. PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EXISTENTES NA ZONA EM ESTUDO

Neste capítulo são descritas, unicamente, as fontes de poluição atmosférica mais pertinentes para o tema em análise. A caracterização incide, assim, sobre as fontes que mais contribuem para a emissão atmosférica dos poluentes em análise, isto é, do SO<sub>2</sub>, do NO<sub>x</sub> e das PM<sub>10</sub>.

Mesmo limitando o presente estudo à análise daquele conjunto de poluentes, pode-se referir que as fontes de poluição respectivas podem ser as mais variadas possíveis. Na região em causa identificaram-se três conjuntos principais de fontes de poluição que emitem para a atmosfera significativas quantidades daqueles poluentes, designadamente: fontes pontuais individualizadas, fontes lineares individualizadas e fontes em área. As primeiras correspondem às fontes fixas cuja localização está perfeitamente definida e que emitem poluentes a partir de um determinado ponto, como são exemplo as unidades industriais. Nas segundas, os poluentes não são emitidos de forma contínua a partir de um ponto, mas sim de uma linha ou corredor, que se estende por uma determinada região, como são o caso das vias de tráfego rodoviário (Auto-Estradas, Itinerários Principais e Complementares, entre outras) e ferroviário (não electrificado). Nesses casos, os geradores de poluição são todos os veículos automóveis que circulam nas vias rodoviárias e as composições ferroviárias que utilizam combustíveis fósseis como fonte de energia. Finalmente, o terceiro tipo de fonte de emissão corresponde ao conjunto de emissões geradas a partir de uma determinada área, que inclui aglomerações e áreas urbanas.

Procede-se, de seguida, a uma caracterização das principais fontes de poluição atmosférica próximas que maior capacidade têm para influenciar o estado da qualidade do ar local e regional e, consequentemente, os registos de concentração de poluentes efectuados pela RMQA pertencente à fábrica SECIL – Outão. Procede-se em primeiro lugar a uma breve caracterização das fontes pontuais individualizadas, seguindo-se as fontes lineares individualizadas e, por fim, as fontes em área.

### **Fontes Pontuais Individualizadas**

A região da península de Setúbal, onde se insere o caso de estudo, alberga dois grandes pólos industriais que constituem fontes importantes de poluição atmosférica e que exercem uma forte influência na qualidade do ar local e regional. O primeiro corresponde ao complexo industrial do Barreiro/Seixal e o segundo diz respeito ao complexo industrial de Setúbal/Mitrena, que se encontra no interior do concelho de Setúbal.

No complexo industrial do Barreiro/Seixal estão presentes, principalmente, indústrias químicas e uma unidade de produção de energia. Neste complexo destaca-se a unidade de produção de química inorgânica de base e de fertilizantes da Adubos de Portugal e as fábricas de Fosfato de cálcio e de Sulfato de alumínio da QUIMITÉCNICA. A unidade de produção de energia consiste numa unidade de co-geração a fuelóleo que produz energia eléctrica e vapor que é depois utilizado em várias unidades industriais (56 MW).

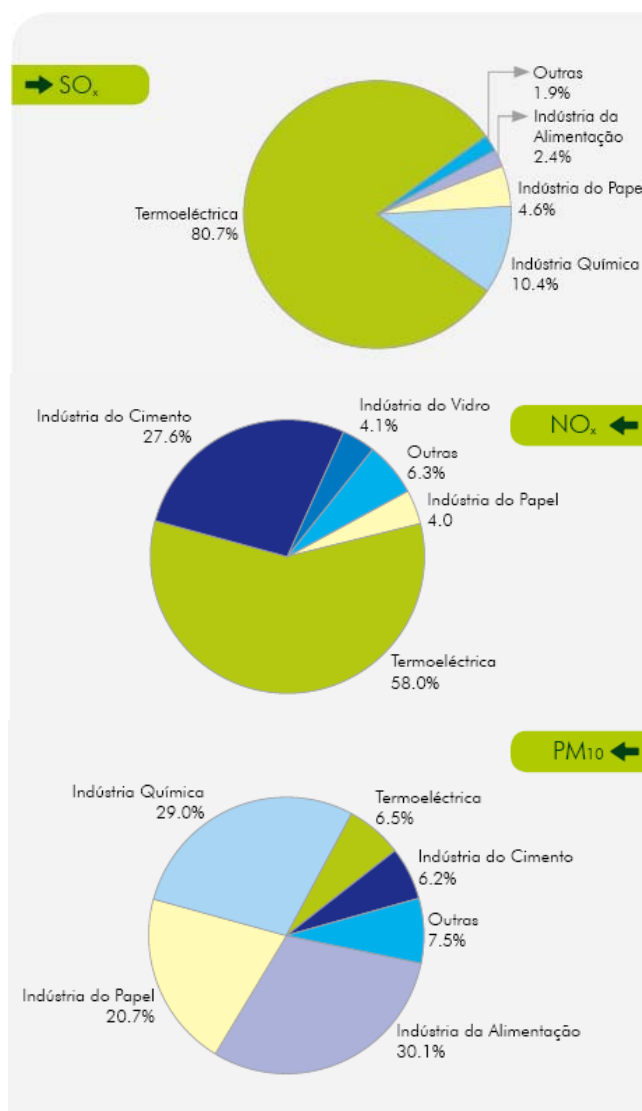
Embora o complexo industrial do Barreiro/Seixal se encontre relativamente afastado da área em estudo, considera-se que devido ao regime normal dos ventos que se verificam nesta região, os poluentes emitidos pelas respectivas indústrias podem influenciar a qualidade do ar da área que é alvo de análise. Este complexo está localizado a Noroeste da área em estudo e possui uma forte componente química, que constitui um dos principais focos de emissão de  $\text{SO}_x$  a nível nacional. De facto, de acordo com os resultados observados nas estações da RMQA aí existente, têm-se verificado excedências aos valores limite legislados para o  $\text{SO}_2$ .

No complexo industrial de Setúbal/Mitrena destacam-se as indústrias químicas, indústrias de produção de energia, de pasta de papel e de cimento. Embora as unidades industriais de menor dimensão possam também contribuir para a degradação da qualidade do ar da região onde se insere a área em estudo, considera-se que as unidades industriais que mais contribuem para a emissão  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$  no complexo industrial de Setúbal/Mitrena, são as seguintes:

- CTS – também localizada na Mitrena, junto ao estuário do Sado. Pertence à EDP – Electricidade de Portugal e é constituída por quatro grupos geradores de 250 MW cada, que utilizam fuelóleo como combustível, com um teor máximo de enxofre de 1%;
- SECIL – Outão – localizada a cerca de 5 km a Oeste da cidade de Setúbal, encontra-se junto da foz do rio Sado e inserida totalmente no Parque Natural da Arrábida. Esta unidade fabril pertence à companhia SECIL– Companhia de Geral de Cal e Cimento, S.A., é constituída por duas linhas de fabrico de clínquer, que utilizam como combustíveis principais o coque de petróleo e o carvão. Além destes combustíveis valoriza, energeticamente, diversos tipos de resíduos. Associado a esta unidade fabril existe ainda uma pedreira de onde são extraídas as principais matérias-primas (calcário e marga) utilizadas na fabricação do clínquer;
- Portucel Soporcel – localizada na Mitrena, junto ao estuário do Sado e apenas a 8 km da cidade de Setúbal. Esta unidade industrial pertence à companhia Portucel – Empresa

Produtora de Pasta e Papel, S.A. e é constituída por duas sub-unidades: uma para produção de pasta de papel e outra de produção de papel de impressão escrita.

Com vista ao desenvolvimento dos Planos e Programas para Melhoria da Qualidade do Ar na RLVT, a CCDR-LVT elaborou o “Inventário de Emissões Atmosféricas da Região de Lisboa e Vale do Tejo. 2000 – 2001”. No âmbito desse inventário foram realizados inquéritos às principais unidades industriais que laboram na RLVT, para estimar a quantidade de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> emitidos por esse tipo de fontes. Na Figura 3-6 apresenta-se o contributo relativo de cada tipo de indústria para a quantidade total de cada um daqueles poluentes que são emitidos pelas fontes estacionárias individualizadas na RLVT.



**Figura 3-6** – Emissões das fontes estacionárias estimadas a partir da informação recolhida no âmbito do “Inventário de Emissões Atmosféricas da Região de Lisboa e Vale do Tejo. 2000 – 2001”.

Fonte: CCDR-LVT e Inventar (2006).

Conforme se pode observar, ao nível das emissões de SO<sub>2</sub> e de NO<sub>x</sub> são claramente as unidades de produção de energia que mais contribuem para os totais emitidos na RLVT (80,7% e 58,0%,

respectivamente). Ainda no que diz respeito às emissões de SO<sub>2</sub>, a indústria de papel apresenta também um valor expressivo (4,6%). Ao nível das emissões de NO<sub>x</sub>, o segundo tipo de indústrias que mais emite é a Indústria de Cimento (27,6%), surgindo mais uma vez a indústria de papel com 4,0%. Em relação à emissão de PM<sub>10</sub>, são as indústrias da alimentação e químicas os maiores contribuidores. A indústria de papel é também responsável por uma parte importante (20,7%) e a indústria de cimento surge também com um valor expressivo (6,2%).

Verifica-se, portanto, que as principais fontes poluição pontual pertencentes ao complexo industrial de Setúbal/Mitrena, são particularmente importantes ao nível das emissões daqueles três poluentes atmosféricos.

Também o estudo “Campanhas para a Avaliação Preliminar da Qualidade do Ar em Portugal – NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> – Tubos de Difusão” realizado pelo ex-Instituto do Ambiente (actual APA) conclui que a emissão de SO<sub>x</sub>, observada nos últimos anos em Portugal, está directamente, e quase exclusivamente, relacionada com as grandes indústrias de produção de energia, nomeadamente as centrais termoeléctricas.

### **Fontes Lineares Individualizadas**

Além das fontes pontuais de origem industrial, constituem também importantes fontes antropogénicas de poluentes atmosféricos existentes na região o tráfego rodó e ferroviário.

Pela influência que, de um modo geral, exercem sobre a qualidade do ar de um dado local, a rede rodoviária e a rede ferroviária (não electrificado), constituem fontes lineares de poluição.

Em termos de rede rodoviária, na área em estudo e na sua envolvente mais próxima são de destacar as principais vias de acesso à cidade de Setúbal, designadamente a Estrada Nacional n.º 10 e a Auto-estrada n.º 12. A primeira permite o acesso à cidade de Setúbal por Este e Oeste da mesma. A segunda, permite o acesso por Norte, onde se liga à Auto-estrada n.º 2 (Auto-estrada do Sul).

Salienta-se ainda a contribuição da restante rede rodoviária (rede viária municipal) para a poluição atmosférica da região analisada, cuja dimensão é significativa.

No que diz respeito à rede ferroviária, refere-se o troço da Linha do Sul que estabelece a ligação com a cidade de Setúbal e ainda todos os ramais ferroviários de transporte de mercadorias que estão ligados a algumas unidades industriais do complexo industrial de Setúbal.

### **Fontes em Área**

Conforme foi referido, as fontes em área correspondem a aglomerações e a áreas urbanas onde as fontes de emissão pontual e linear, se consideradas individualmente, perdem significado. A área urbana que mais pode influenciar a qualidade do ar na área em estudo é a cidade de Setúbal. Além de pequenas fontes de emissão pontual que, de um modo geral, se distribuem um pouco por todo esse

tecido urbano, os próprios veículos automóveis, que circulam nas vias municipais da cidade, contribuem fortemente para a emissão de grandes quantidades de poluentes para a atmosfera.

Tendo em conta que existe uma proporção cada vez mais directa entre o número de habitantes de um dado local e o número de veículos automóveis que nele circulam, é de esperar que as cidades com maior densidade populacional constituam focos de poluição em área mais importantes. Segundo o Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa (PROTAML), ocorre um forte movimento pendular de e para a cidade de Setúbal. Segundo esse plano, a cidade de Setúbal constitui um pólo de geração/atracção de tráfego que evidencia uma vida própria já bastante intensa. Diariamente são realizadas cerca de 19 500 viagens de e para a cidade de Setúbal, o que demonstra claramente o peso que este meio de transporte tem ao nível das emissões poluentes para a atmosfera (CCDR-LVT, 2002).

Além da cidade de Setúbal, não podem ser esquecidos os restantes aglomerados urbanos que existem na Península de Setúbal e a própria cidade de Lisboa. Todos estes aglomerados urbanos pertencem à Área Metropolitana de Lisboa, uma das áreas mais densamente povoadas de Portugal.

Na Figura 3-7 identificam-se todas as fontes de poluição atmosférica descritas anteriormente.





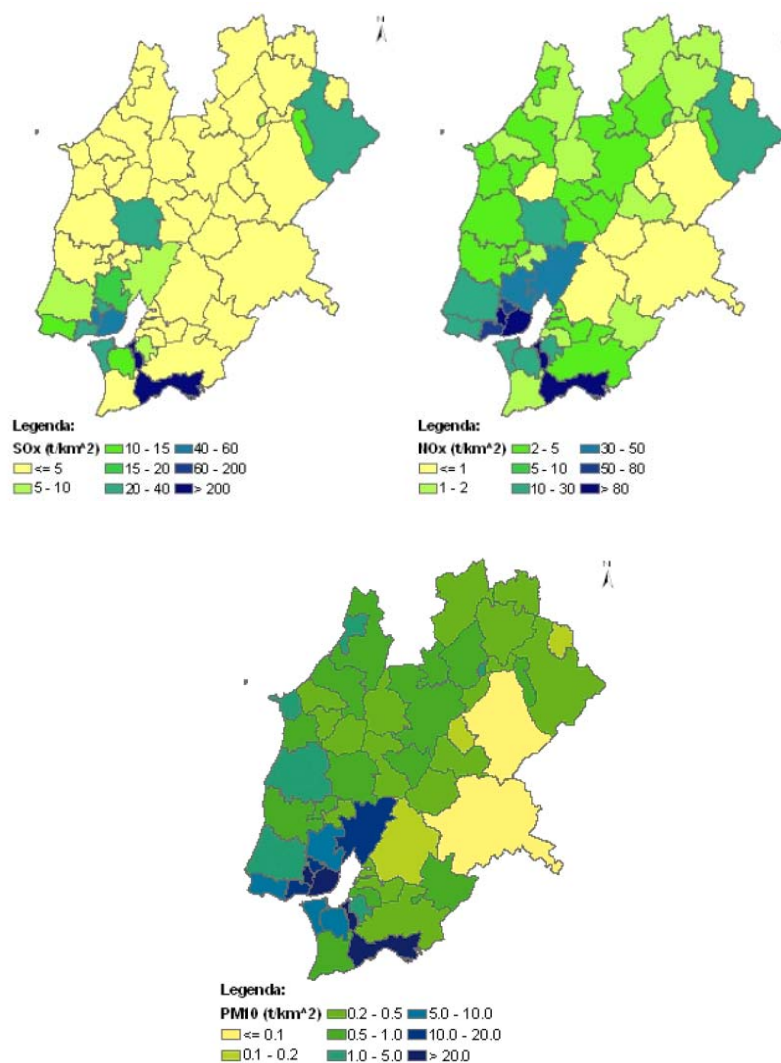


Figura 3-7 – Principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos existentes na região em estudo.



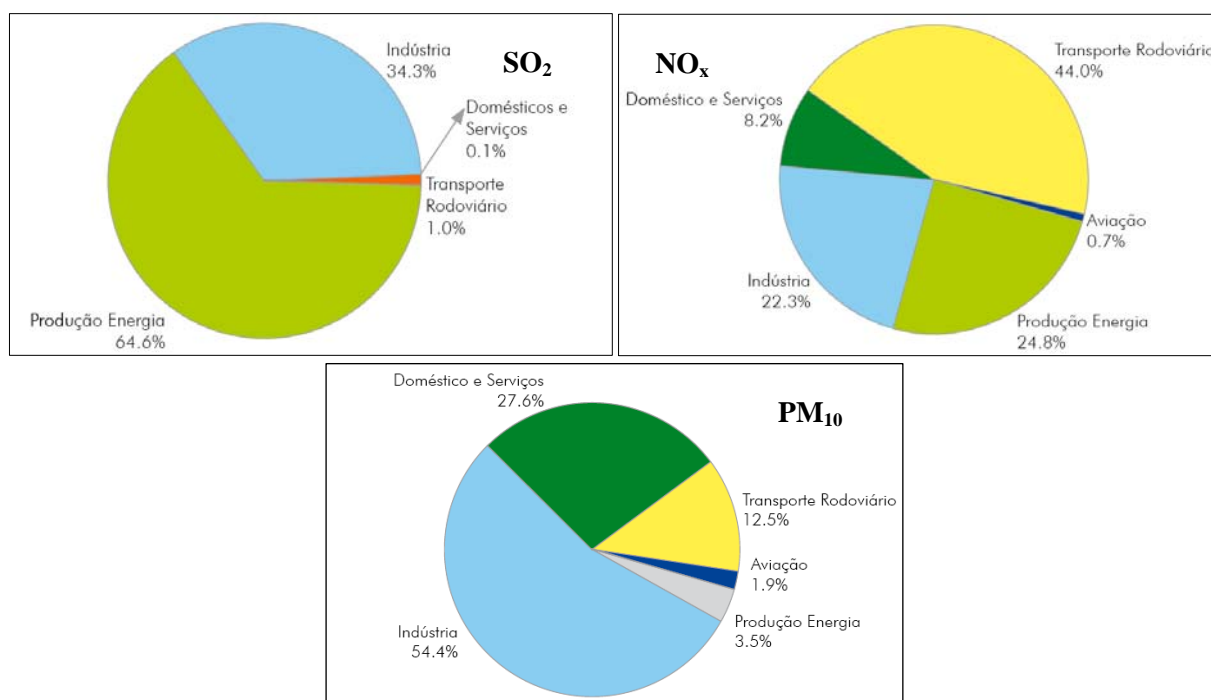


No “*Inventário de Emissões Atmosféricas da Região de Lisboa e Vale do Tejo, 2000 – 2001*” (CCDR-LVT e Inventar, 2006) foi estimada a quantidade de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> que é emitida por cada concelho e por cada sector de actividade (ver Figura 3-8 e Figura 3-9).



**Figura 3-8**– Emissões de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> por concelho da RLVT (emissões por unidade de área).

Fonte: CCDR-LVT e Inventar (2006).



**Figura 3-9** – Emissões de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> por sector de actividade.

Fonte: CCDD-LVT e Inventar (2006).

Conforme se pode observar, as maiores quantidades de SO<sub>2</sub> emitidas por unidade de área pertencem aos concelhos do Barreiro e de Setúbal, onde se localizam, precisamente, as unidades de produção de energia, as indústrias químicas e a indústria de pasta de papel. Os maiores valores de NO<sub>x</sub> são emitidos nos concelhos de Lisboa, do Barreiro e de Setúbal. O sector dos transportes é a principal fonte de NO<sub>x</sub> na RLVT contribuindo com 44% das emissões. A actividade industrial, em particular a indústria do cimento e a produção de energia contribuem com cerca de 47% das emissões de NO<sub>x</sub>. Finalmente, no que diz respeito às emissões de PM<sub>10</sub>, verifica-se que os valores mais elevados pertencem aos concelhos Barreiro, Lisboa, Setúbal e Amadora. As emissões mais elevadas no concelho de Lisboa devem-se aos sectores Doméstico e Serviços e Transportes. As emissões da indústria representam 54% das partículas emitidas na região. Para as restantes emissões (46%) contribuem mais significativamente os sectores: Doméstico e Serviços e Transportes.

### 3.3. REDES DE MONITORIZAÇÃO EM ESTUDO

Os dados de qualidade do ar que foram utilizados no presente trabalho foram registados a partir de três Redes de Monitorização da Qualidade do Ar (RMQA), que estão implantadas na região em estudo, designadamente:

- A RMQA da Fábrica SECIL – Outão;
- A RMQA da CTS, pertencente à EDP;
- A RMQA da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional da Região de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT).

Estas RMQA estão associadas às principais fontes de poluição atmosférica já identificadas. A primeira e a segunda rede de monitorização estão associadas, respectivamente, a uma unidade industrial e a uma central de produção de energia. A terceira pertence, e é gerida, por um organismo público: CCDR-LVT. As duas primeiras têm como objectivo monitorizar o efeito causado na qualidade do ar pelos poluentes atmosféricos emitidos pelas duas fontes pontuais de poluição. A terceira visa monitorizar a qualidade do ar na cidade de Setúbal e da sua envolvente.

Em termos de unidades funcionais de gestão da qualidade do ar, estas RMQA encontram-se integradas na Zona da Península de Setúbal / Alcácer do Sal e na Aglomeração de Setúbal. Segundo o Decreto-Lei nº 276/99, de 23 de Julho, define-se como “Zona” uma área geográfica de características homogéneas, em termos de qualidade do ar, ocupação do solo e densidade populacional e como “Aglomeração” uma zona caracterizada por um número de habitantes superior a 250.000 ou em que a população seja igual ou fique aquém de tal número de habitantes, desde que não inferior a 50.000, sendo a densidade populacional superior a 500 habitantes/km<sup>2</sup>.

No que diz respeito a estações, cada uma das referidas é constituída pelas seguintes estações de monitorização da qualidade do ar:

- A RMQA da Fábrica SECIL–Outão: Hospital Ortopédico do Outão, Quinta da Murteira, São Filipe e Tróia;
- A RMQA da CTS: São Filipe, St.º Ovídio, Subestação e Praias do Sado.
- A RMQA da CCDR-LVT: Arcos, Camarinha e Quebedo.

Na Figura 3-10 encontra-se representada a localização de cada uma das estações de monitorização consideradas.







Figura 3-10 – Localização das RMQA e das respectivas estações de monitorização.



No Quadro 3-5 identificam-se todas as estações de monitorização consideradas, a rede a que pertencem, as coordenadas geográficas, a sua classificação (quanto ao tipo de zona e ao tipo de fontes de emissão dominantes), os poluentes monitorizados (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e/ou PM<sub>10</sub>), o período de monitorização.

Para um melhor enquadramento da caracterização a efectuar, é importante referir que as estações de qualidade do ar devem ser classificadas em termos do tipo de área em que estão localizadas e quanto ao tipo de fontes de emissão que determinam os níveis de poluição do ar na estação. Assim, segundo o estipulado na Decisão 2001/752/EC, de 17 de Outubro de 2001, estão definidos dois níveis principais de classificação de estações:

- **Tipo de zona** (em três classes possíveis: Urbana, Suburbana, Rural);
- **Tipo de fontes de emissão dominantes** (em três classes possíveis: Tráfego, Industrial, Fundo).

Os tipos de zona onde se localizam as estações, definem-se como:

- **Urbanas** – zona construída contínua;
- **Suburbanas** – zona em parte construída: implantação contínua de construções isoladas combinadas com zonas não urbanizadas (pequenos lagos, bosques, terrenos agrícolas);
- **Rurais** – todas as zonas que não preenchem os critérios definidos para as zonas urbanas/suburbanas.

As fontes de emissão que são dominantes num dado local e que determinam a qualidade do ar que é medida numa estação de monitorização, implicam a classificação das estações em três tipos:

- **Tráfego** – estações cuja localização leva a que o seu nível de poluição seja influenciado principalmente pelas emissões do tráfego rodoviário de uma rua/estrada situada na proximidade;
- **Industrial** – estações cuja localização leva a que o seu nível de poluição seja influenciado principalmente por fontes industriais isoladas ou áreas industriais situadas na proximidade;
- **Fundo** – estações cujo nível de poluição não é influenciado pelo tráfego automóvel nem pela indústria.

**Quadro 3-5** – Redes e estações de monitorização da qualidade do ar consideradas, localização, classificação, poluentes medidos e períodos de registo.

Rede de Monitorização	Estações	Coordenadas Geográficas <sup>1</sup>		Altitude	Classificação		Poluentes Medidos			Período de Registo
		Latitude	Longitude		Zona	Fontes Dominantes	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	
SECIL	Hospital do Outão	38° 29' 31" N	08° 56' 02" W	—	Suburbana	Industrial	✓	✓	✓	01.05.2006 – 30.04.2007
	Quinta da Murteira	38° 29' 65" N	08° 59' 39" W	—	Rural	Fundo	✓	✓	✓	
	São Filipe	38° 30' 91" N	08° 54' 75" W	100 m	Suburbana	Fundo	✗	✗	✗	
	Troia	38° 28' 78" N	08° 53' 42" W	3 m	Suburbana	Fundo	✓	✓	✓	
CTS	São Filipe	38° 30' 91" N	08° 54' 44" W	100 m	Suburbana	Fundo	✓	✓	✗	01.05.2006 – 30.04.2007
	Sí <sup>o</sup> Ovídio	38° 31' 37" N	08° 48' 37" W	—	Suburbana	Fundo	✗	✗	✓	
	Subestação	38° 32' 08" N	08° 51' 44" W	30 m	Urbana	Tráfego	✓	✓	✓	
	Praias do Sado	38° 31' 05" N	08° 50' 15" W	—	Suburbana	Industrial	✓	✓	✓	
CCDR-LVT	Arcos	38° 31' 45" N	08° 53' 39" W	2 m	Urbana	Fundo	✗	✓	✗	01.05.2006 – 30.04.2007
	Camarinha	38° 31' 53" N	08° 52' 20" W	15 m	Urbana	Fundo	✓	✓	✓	
	Quebedo	38° 31' 31" N	08° 53' 11" W	16 m	Urbana	Tráfego	✓	✓	✓	

(1) Datum WGS84



Do Quadro 3-5 anterior convém salientar que a estação de S. Filipe pertence simultaneamente às RMQA da Fábrica SECIL - Outão e da CTS. Não obstante esse facto, esta estação mede poluentes diferentes para cada uma dessas redes de monitorização. Os poluentes em análise são medidos apenas para a CTS. Convém também referir que a classificação dada às estações (em termos de zona e de fontes de poluição dominantes) da CCDR-LVT é uma classificação oficial. Em relação às restantes estações, a classificação foi atribuída com base em informação bibliográfica e em informação recolhida no local.

Conforme é apresentado no quadro anterior:

- Na rede de monitorização da SECIL – Outão apenas a estação de S. Filipe não mede as concentrações dos poluentes em análise;
- Na rede de monitorização da CTS as estações Subestação e Praias do Sado medem todos os poluentes. A estação de St.º Ovídio mede apenas as concentrações de  $PM_{10}$  e a estação de S. Filipe mede as concentrações dos poluentes  $SO_2$  e  $NO_x$ ;
- Na rede de monitorização da CCDR-LVT a estação de Arcos mede apenas as concentrações de  $NO_x$ . As restantes estações medem todos os poluentes em análise;
- No que diz respeito aos períodos em que foram efectuadas medições, à excepção da estação Praias do Sado, verifica-se que todas as estações efectuaram medições de todos os poluentes entre 01.05.2006 e 30.4.2007. Em algumas estações da rede de monitorização da SECIL ocorreram alguns dias de paragem nas medições de  $SO_2$  e de  $NO_x$ . Na estação Praias do Sado apenas foram efectuados registos em Abril de 2007.

Procede-se, de seguida, a uma breve descrição das principais características das RMQA consideradas e das respectivas estações. A caracterização incidirá, com maior pormenor, sobre a RMQA que é alvo do presente estudo, isto é, aquela que está associada à Fábrica SECIL - Outão, apresentando-se apenas uma breve descrição para as restantes redes. Além da caracterização, apresenta-se também uma breve descrição do estudo que esteve na origem da configuração e da escolha dos locais para a implantação das estações da rede da fábrica SECIL – Outão.

### **3.3.1. Rede de Monitorização da Fábrica SECIL – Outão**

#### **Antecedentes**

No ano de 2003 foi realizado pela Faculdade de Ciencias e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL) um estudo para a Fábrica SECIL-Outão que teve como objectivo a identificação de locais para a instalação de equipamento de monitorização da qualidade do ar na envolvente dessa indústria (DCEA, 2003). Para tal, foi realizada uma campanha de amostragem entre Janeiro e Abril do mesmo ano, na qual foram avaliadas as concentrações dos principais poluentes emitidos pela indústria:  $SO_2$ ,  $NO_2$  e  $PM_{10}$ . Foram também avaliadas as concentrações de benzeno para a determinação da influência do tráfego rodoviário nas vias perto da indústria.

A campanha de amostragem dos gases  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  e Benzeno, foi realizada recorrendo a tubos de difusão, que se distribuíram por 21 locais na envolvente da indústria e também na península de Tróia (Figura 3-11).



**Figura 3-11** – Locais de amostragem de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  e de Benzeno.

Fonte: DCEA (2003).

A campanha de amostragem de partículas foi realizada recorrendo a um equipamento que permite recolher amostras diárias de partículas por método gravimétrico (Partisol Plus). Neste caso foram seleccionados cinco locais distintos para efectuar a amostragem: Antenas, Hospital Ortopédico do Outão, Depósito de Água, Tróia e Sol Tróia (Figura 3-12). Como complemento à análise, foram também sujeitos a avaliação os dados de partículas medidos nas estações da CTS e da CCDR-LVT, situadas na região de Setúbal.



**Figura 3-12** – Locais de amostragem de partículas ( $\text{PM}_{10}$ ).

Fonte: DCEA (2003).

De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se o seguinte:

- Registaram-se diferenças significativas entre as rosas-dos-ventos elaboradas a partir dos valores registados na SECIL, em São Filipe e na CTS. Tal indicou que a SECIL-Outão se encontra encaixada num vale onde a topografia influencia de forma muito significativa a direcção e a velocidade do vento e, portanto, a forma como se dispersam os poluentes;
- Foram observadas excedências ao valor-limite de  $PM_{10}$  em três locais amostrados (SECIL, Hospital Ortopédico do Outão e Sol Tróia), tendo-se constatado que a Fábrica SECIL – Outão contribui para essas excedências pois as concentrações mais elevadas ocorreram quando os ventos eram provenientes da direcção da fábrica;
- Foi constatado também que a proximidade do mar também foi um factor que contribuiu para o aumento da concentração de partículas. As concentrações mais elevadas ocorreram também para ventos de Sudoeste, indicando a influência do spray marítimo na concentração de  $PM_{10}$ ;
- As concentrações de  $SO_2$  e de  $NO_2$  foram baixas. Os valores mais elevados foram registados junto da via rodoviária que se encontra junto da fábrica SECIL – Outão, indicando a influência do tráfego nas concentrações. Os valores mais elevados das concentrações destes poluentes registados na estação de S. Filipe, ocorreram para ventos de Este. Nessa direcção encontra-se a CTS. No entanto, quando os ventos provêm da direcção da Fábrica SECIL – Outão, verifica-se também influência nos valores.

Com base nos resultados obtidos, foram identificados três locais considerados como ideais para a instalação de equipamentos de monitorização da qualidade do ar: no Hospital Ortopédico do Outão, em São Filipe e na Península de Tróia. A razão da escolha do primeiro local, deveu-se ao facto de existir nesse local uma população sensível e por se encontrar a jusante da fábrica de cimento, num quadrante próximo dos ventos predominantes. O segundo local deveu-se ao facto de se considerar que a partir dos dados obtidos nesse local é possível associar as concentrações de determinados poluentes às principais fontes de poluição, e por permitir avaliar as concentrações que se dirigem para Setúbal uma vez que, para ventos de Sudeste, a cidade está a jusante da Fábrica SECIL – Outão. A escolha do terceiro local relacionou-se com o facto de ter sido detectada a influência das emissões da fábrica SECIL – Outão nos registos efectuados em Tróia.

Além daqueles três locais, o estudo propôs também a localização de uma estação de fundo na Quinta da Murteira. Tal visa constituir uma garantia de avaliação e proporcionar informação adicional para estudos futuros.

### **Rede de Monitorização da Qualidade do Ar**

Conforme já indicado, a rede de monitorização da qualidade do ar da Fábrica SECIL-Outão é constituída pelas estações Hospital Ortopédico do Outão, Quinta da Murteira, Tróia e São Filipe.

A estação Hospital Ortopédico do Outão é a que se encontra mais próxima da Fábrica SECIL-Outão. Está localizada a cerca de 1000 m a Sul desta unidade industrial. Esta estação, apesar de se encontrar

consideravelmente afastada de outras fontes importantes de poluição atmosférica possui, na sua envolvente imediata, alguns elementos que podem influenciar os valores de alguns dos parâmetros que monitoriza, nomeadamente: o Hospital Ortopédico do Outão, onde são emitidos para a atmosfera diversos poluentes, decorrentes da incineração de resíduos hospitalares; uma via rodoviária onde circulam diariamente veículos pesados que transportam mercadorias provenientes da SECIL-Outão para expedição marítima; o próprio mar que, em determinadas condições de instabilidade atmosférica, pode contribuir para a formação de aerossóis. As condições topográficas do terreno situado no quadrante Oeste-Norte, por ser extremamente acidentado pode exercer uma forte influência nas condições locais de dispersão dos poluentes.

Nesta estação de monitorização são medidos todos os poluentes em estudo e o período em análise não ocorreram paragens nas medições. Nesta estação são também medidos os poluentes  $PM_{2,5}$ , CO,  $O_3$  e THC.

A estação Quinta da Murteira, é a estação que se encontra mais afastada da fábrica SECIL-Outão, a cerca de 5 km a Oeste. Está instalada numa zona com características rurais e na encosta da Serra da Arrábida que está virada a Norte. Não obstante, o local onde se encontra situa-se a na cabeceira do mesmo vale onde está implantada a fábrica SECIL-Outão. Em determinadas condições do regime de ventos, esta localização pode ser útil para monitorizar os poluentes emitidos pela SECIL-Outão e que sejam transportados ao longo do vale.

Tendo em atenção o regime normal de ventos (de Noroeste), esta estação encontra-se numa posição privilegiada para detectar a poluição de fundo proveniente da cidade de Lisboa e da zona industrial do Barreiro.

Na estação Quinta da Murteira são medidos todos os poluentes em estudo e no período em análise também não ocorreram paragens nas medições. Nesta estação são também medidos os poluentes  $PM_{2,5}$ , CO,  $O_3$  e THC.

A estação Tróia encontra-se instalada na península de Tróia a cerca de 4 km a Este Sudeste da fábrica SECIL-Outão. Encontra-se, portanto, entre o oceano atlântico e o estuário do Sado. A zona onde está instalada é portanto extremamente plana, não possuindo nas proximidades obstáculos relevantes à circulação das massas de ar nem de fontes de poluição que possam exercer um efeito directo no registo das concentrações. Não obstante, o facto de se encontrar muito próxima do mar, pode haver influência dos aerossóis durante o registo de informação.

À semelhança o referido para as duas estações anteriores, também a estação Tróia são medidos todos os poluentes em estudo e os poluentes  $PM_{2,5}$ , CO,  $O_3$  e THC. No período em análise ocorreram apenas duas paragens: entre 23 e 29 de Dezembro de 2006 e entre 17 e 25 de Janeiro de 2007.

Finalmente, a estação S. Filipe é a segunda estação que se encontra mais próxima da fábrica SECIL-Outão (a cerca de 3 km a Nordeste). Embora não se seja influenciada directamente por nenhuma fonte de poluição (pois está localizada a cerca de 100 m acima do nível médio do mar), encontra-se muito próxima

da cidade de Setúbal o que, para determinadas condições de ventos e de estabilidade da atmosfera, pode registar a poluição que é gerada pela cidade como um todo.

O facto de se encontrar instalada num ponto relativamente elevado, permite que não haja obstáculos relevantes à circulação das massas de ar na sua envolvente nem dos poluentes emitidos por fontes pontuais.

Esta estação de monitorização pertence simultaneamente às redes de monitorização da Fábrica SECIL-Outão e da CTS. Não obstante, a estação mede diferentes poluentes atmosféricos para as duas redes de monitorização. Para a primeira rede, esta estação mede apenas o CO, o O<sub>3</sub>, o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>2</sub>. No período em análise ocorreram apenas duas paragens aos registos de NO<sub>x</sub>: entre 17 de Fevereiro e 13 de Março de 2006 e entre 21 e 29 de Abril de 2007.

### **3.3.2. Rede de Monitorização da CTS e da CCDR-LVT**

A RMQA da CTS é constituída por quatro EMQA (S. Filipe, S.to Ovídio, Subestação e Praias do Sado). Conforme já referido, a estação S. Filipe pertence também à RMQA da fábrica SECIL-Outão.

A estação S.<sup>to</sup> Ovídio é a que se encontra mais a Este na região em estudo. Está localizada a cerca de 3,5 km a Nordeste da CTS, junto de zonas marcadamente residenciais e a uma via rodoviária municipal. Esta via poderá exercer alguma influência nos registos de concentração de alguns poluentes.

A Subestação é a estação da CTS que está mais próxima da cidade de Setúbal. Está situada a cerca de 3,3 km a Sudeste da CTS, junto de uma das principais vias rodoviárias que ligam a cidade de Setúbal ao Sul de Portugal. As emissões atmosféricas geradas pelo tráfego de veículos ligeiros e pesados que circulam nesta via, exercem uma forte influência nos registos efectuados por esta EMQA (Ferreira, 1998). Tal justificou a necessidade de classificar a Subestação como uma estação de tráfego.

Finalmente, a estação Praias do Sado é a que se encontra mais próxima da CTS, situando-se a apenas 1 km a Nordeste da central. Está localizada numa zona residencial, não existindo na envolvente imediata fontes de poluição que possam influenciar os respectivos registos.

Em relação à RMQA da CCDR-LVT, conforme foi possível observar na Figura 3-10, todas as estações encontram-se instaladas no interior da cidade de Setúbal. Embora as estações Arcos e Camarinha sejam consideradas estações de fundo, o facto de se encontrarem muito próximas de vias rodoviárias, acabam por sofrer uma grande influência das emissões atmosféricas geradas pelo tráfego rodoviário que circulam na malha urbana da cidade de Setúbal. A estação Quebedo é considerada uma estação de tráfego, pois destina-se a monitorizar a poluição atmosférica que é gerada junto de uma das principais artérias rodoviárias, que existe no centro de Setúbal.

### 3.4. DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

As condições meteorológicas são fundamentais para qualquer modelo de dispersão de poluentes. As condições de dispersão são os principais componentes desses modelos, que determinam o efeito de diluição da atmosfera à medida que os poluentes emitidos são transportados pelas massas de ar (Abdul-Wahab, 2006).

As condições meteorológicas desempenham, portanto, um papel extremamente importante na dispersão dos poluentes que são emitidos pelas fontes de poluição pontual, influenciando os níveis de concentração desses mesmos poluentes em zonas tão sensíveis como as áreas residenciais. Também igualmente importantes são as condições topográficas das áreas envolventes à fonte de poluição. Estas têm uma grande capacidade para influenciar as condições meteorológicas e, conseqüentemente, influenciar o seu papel na dispersão dos poluentes.

No presente capítulo apresenta-se uma breve caracterização climática e meteorológica da área que é objecto de estudo, focando-se os factores que mais influenciam a dispersão dos poluentes na região em estudo. Apresenta-se também os principais resultados obtidos com um estudo realizado em 2006 para a fábrica SECIL-Outão, que consistiu na aplicação de um modelo matemático de dispersão atmosférica às emissões provenientes de 11 fontes emissoras, existentes naquele complexo fabril. Este estudo contém informação fundamental sobre alguns dos principais factores que influenciam a dispersão dos poluentes na área em estudo.

A caracterização climática e meteorológica efectuada, seguiu três abordagens:

- Uma primeira, onde se caracteriza o clima da região em estudo, bem como os factores climáticos capazes de influenciar as características ou a dinâmica do clima;
- Uma segunda, onde se caracterizam alguns parâmetros meteorológicos através das respectivas normais climatológicas. A normal de uma dada variável climática e de um dado local, corresponde ao valor médio daquela variável, que foi obtido a partir de um número de anos suficiente para se poder admitir que ele representa o valor predominante daquele elemento no local considerado;
- Uma terceira, onde se caracterizam os principais factores que são responsáveis pela formação de microclimas na área em estudo, e onde se analisa a influência que os mesmos podem ter na dispersão dos poluentes atmosféricos. Caracterizam-se também as variáveis climáticas que mais influenciam essa dispersão, recorrendo aos valores que foram registados nas RMQA no período em análise.

Para efectuar a primeira caracterização recorreu-se à classificação do clima segundo Thornthwaite e segundo Köppen.

Na segunda abordagem recorreu-se, unicamente, às Normais Climatológicas da Região do Ribatejo e Oeste do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG, 1991). A informação meteorológica utilizada consiste nos registos efectuados pela estação climatológica e udométrica de Setúbal / SETENAVE e pela estação climatológica de Setúbal. Na primeira e na segunda estação, a informação



considerada corresponde, respectivamente, às médias dos valores registados entre 1974 e 1988 e entre 1961 e 1990 (Quadro 3-6).

**Quadro 3-6** – Estações climatológicas consideradas.

<b>Estação</b>	<b>Tipo</b>	<b>Latitude (Datum Lx)</b>	<b>Longitude (Datum Lx)</b>	<b>Período de Observação</b>	<b>Altitude</b>
<b>Setubal/SETENAVE</b>	Climatológica e Udométrica	38° 29'	08° 49'	1974 – 1988	4 m
<b>Setúbal</b>	Climatológica	38° 31'	08° 54'	1961 – 1990	35 m

Na Figura 3-13 apresenta-se a localização de cada uma das estações indicadas no Quadro 3-6.





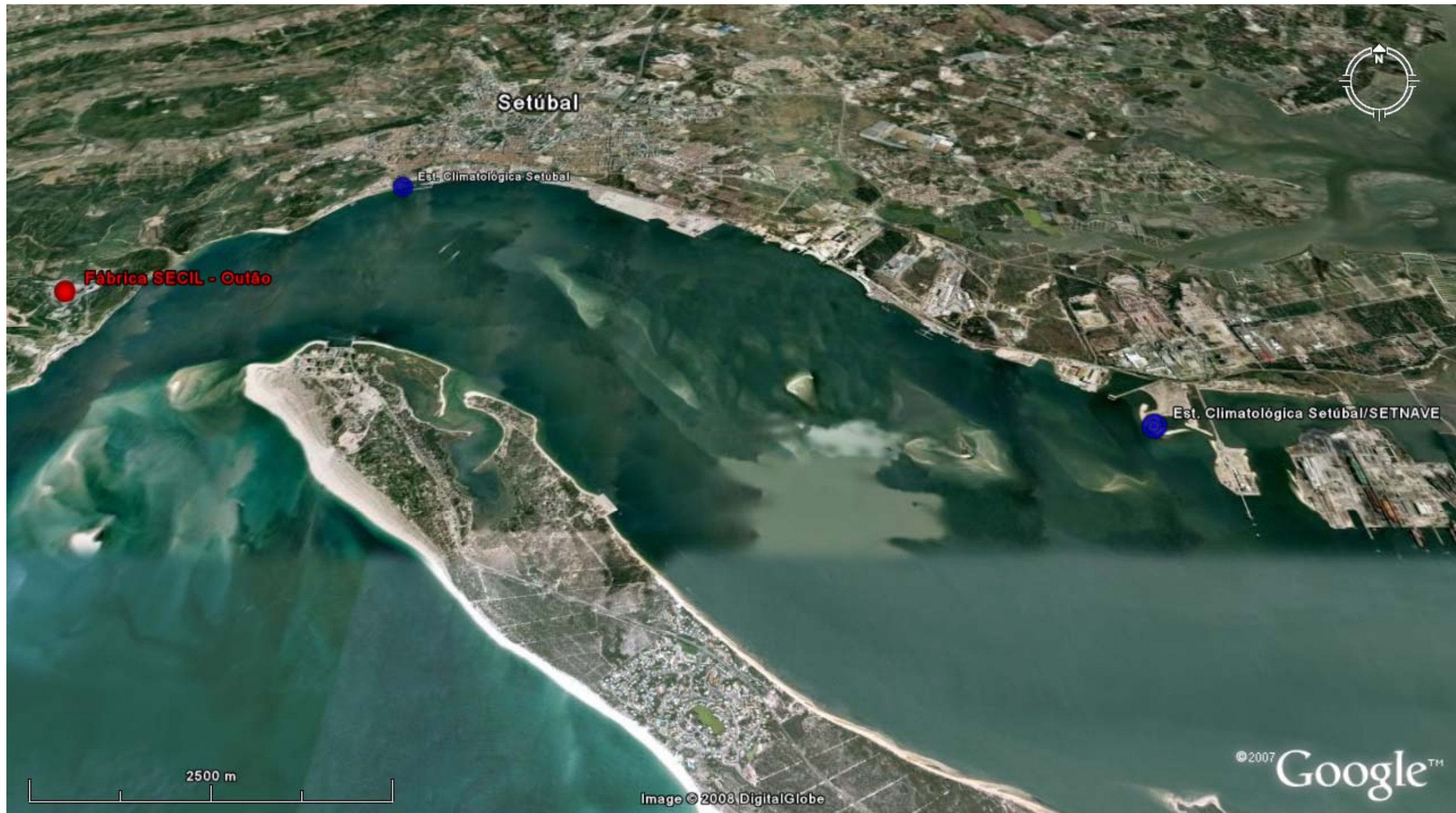


Figura 3-13 – Localização das Estações Climatológicas consideradas.



Conforme se pode observar na Figura 3-13, a Estação de Setúbal situa-se numa zona urbana mais próxima do oceano. A Estação de Setúbal/SETNAVE está localizada numa zona com maior influência do estuário do Sado.

Para a terceira caracterização recorreu-se aos registos efectuados nas estações meteorológicas pertencentes à RMQA da SECIL e à CTS da EDP. Na primeira rede de monitorização, a única estação meteorológica registou valores médios horários para três parâmetros: temperatura, velocidade e direcção do vento. Na segunda rede, além daqueles três parâmetros foram também registados valores médios horários de radiação, de humidade e de pressão. No Quadro 3-7 listam-se todas as estações consideradas, o tipo, as coordenadas do local, o período de observação e a altitude a que se encontram.

**Quadro 3-7** – Estações meteorológicas e de qualidade do ar consideradas.

<i>Estação</i>	<i>Tipo</i>	<i>Latitude (Datum lx)</i>	<i>Longitude (Datum lx)</i>	<i>Período de Observação</i>
<b>EDP</b>	Meteorológica	38° 30' N	08° 50' W	01.05.2006 – 30.04.2007
<b>SECIL - Outão</b>	Meteorológica	38° 29' 50" N	08° 56' W	01.05.2006 – 30.04.2007
<b>Praias do Sado</b>	Qualidade do Ar	38° 31' 05" N	08° 50' 15" W	01.04.2007 – 30.04.2007
<b>São Filipe</b>	Qualidade do Ar	38° 30' 91" N	08° 54' 75" W	01.05.2006 – 30.04.2007
<b>Troia</b>	Qualidade do Ar	38° 28' 78" N	08° 53' 42" W	01.05.2006 – 30.04.2007
<b>Hospital do Outão</b>	Qualidade do Ar	38° 29' 31" N	08° 56' 02" W	01.05.2006 – 30.04.2007
<b>Quinta da Murteira</b>	Qualidade do Ar	38° 29' 65" N	08° 59' 39" W	01.05.2006 – 30.04.2007

Na Figura 3-14 apresenta-se a localização de cada uma dessas estações.





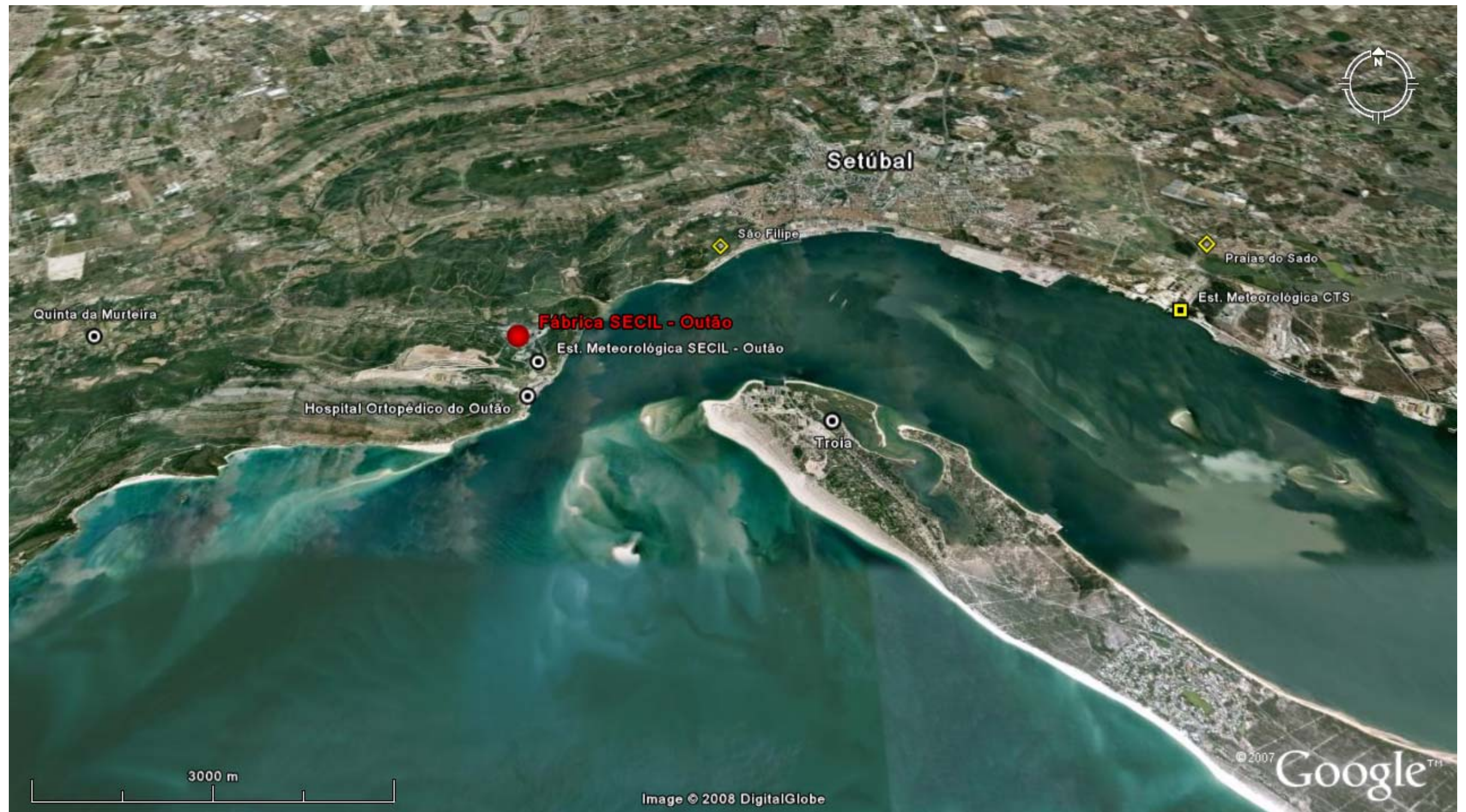


Figura 3-14 – Localização das Estações Meteorológicas e de Qualidade do Ar consideradas.





Em concordância com os objectivos definidos para o presente estudo, a segunda e a terceira caracterização restringir-se-ão à análise dos parâmetros que desempenham um papel importante para a dispersão dos poluentes, designadamente:

- Temperatura;
- Precipitação;
- Nebulosidade
- Regime dos Ventos (velocidade e direcção).

### **3.4.1. Caracterização Climática e Meteorológica**

#### **Caracterização Climática**

##### **a. Segundo Köppen**

Esta classificação é baseada no pressuposto de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima nela prevalecente. Nesta classificação são considerados cinco tipos climáticos correspondentes aos grandes tipos de clima planetários. Na determinação dos tipos climáticos de Köppen-Geiger são considerados a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação.

Segundo a classificação de **Köppen** a região onde se insere a área em estudo enquadra-se na categoria **Cs** – clima chuvoso e moderadamente quente, com chuvas preponderantes de inverno, subtipo **Csb** (Godard e Tabeau, 1993, *in* C+P.A., 2005), isto é:

- **C** – Clima Mesotérmico (temperado) húmido, em que a temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C, mas superior a -3°C, enquanto que o mês mais quente apresenta valores superiores a 10°C;
- **s** – Estação Seca de Verão, a quantidade de precipitação do mês mais seco do semestre quente é inferior a 1/3 da do mês mais chuvoso do semestre frio e inferior a 40mm;
- **b** – Verão pouco quente mas extenso, a temperatura média do ar no mês mais quente do ano é inferior a 22°C, havendo mais de quatro meses cuja temperatura média é superior a 10°C.

##### **b. Segundo Thornthwaite**

A classificação climática criada por Charles Warren Thornthwaite, o factor mais importante é a evapotranspiração potencial e a sua comparação com a precipitação que são típicas de uma determinada área. Com base nesses dados, são calculados vários índices: índice hídrico, índice de humidade, índice de aridez e a eficiência térmica (C+P.A., 2005).

Segundo esta classificação, na região onde se insere a área em estudo verifica-se um clima sub-húmido seco, ,esotérmico, superavit de água grande no Inverno e pequena eficiência térmica no Verão (C+P.A., 2005).

### **Caracterização Meteorológica**

Procede-se, de seguida, a uma breve caracterização de cada um dos parâmetros meteorológicos já indicados. Cada parâmetro é caracterizado segundo as normais climatológicas registadas nas estações climatológicas de Setúbal e de Setúbal/SETNAVE. No final de cada caracterização é apresentado um gráfico com os valores médios mensais registados naquelas duas estações.

#### **a. Temperatura**

##### **Estação de Setúbal**

Nesta estação a temperatura média anual é de 16,1°C, o que corresponde a um clima temperado segundo o sistema clássico ( $10^{\circ}\text{C} \leq T \text{ média} \leq 20^{\circ}\text{C}$ ). A temperatura média mensal situa-se entre os 10,2°C, no mês de Janeiro, e os 22,6°C, no mês de Agosto. De acordo com a amplitude térmica registada (12,4°C) pode afirmar-se que o clima da região é Moderado ( $10^{\circ}\text{C} \leq \bar{a} \leq 20^{\circ}\text{C}$ ). Trata-se de um valor reduzido pois, de um modo geral, quanto maior é a influência oceânica menor é a amplitude térmica, pois esse elemento contribui para atenuar os valores extremos de temperatura.

As temperaturas médias máximas e mínimas foram registadas nos meses de Agosto e de Janeiro, correspondendo, respectivamente, a 29,3°C e a 5,3°C.

Os valores máximos e mínimos extremos foram registados no meses de Junho e de Janeiro. No primeiro caso foi registado um valor de 41,9°C e no segundo foi registado um valor de -5,3°C.

Em termos anuais, o número de dias com temperatura mínima inferior a 0,0°C é de 6,3 dias e com temperatura máxima superior a 25,0°C é de 110,5 dias.

##### **Estação de Setúbal/SETNAVE**

A temperatura média anual registada nesta estação é de 16,7°C. A temperatura média mensal situa-se entre os 11,2°C, no mês de Janeiro, e os 22,4°C, no mês de Agosto. Também neste caso, a amplitude térmica registada sugere que o clima da região é Moderado ( $10^{\circ}\text{C} \leq \bar{a} \leq 20^{\circ}\text{C}$ ).

As temperaturas médias máximas e médias mínimas foram igualmente registadas no mês de Agosto e no mês de Janeiro, respectivamente. No primeiro mês é de 28,6°C e no segundo é de 6,9°C.

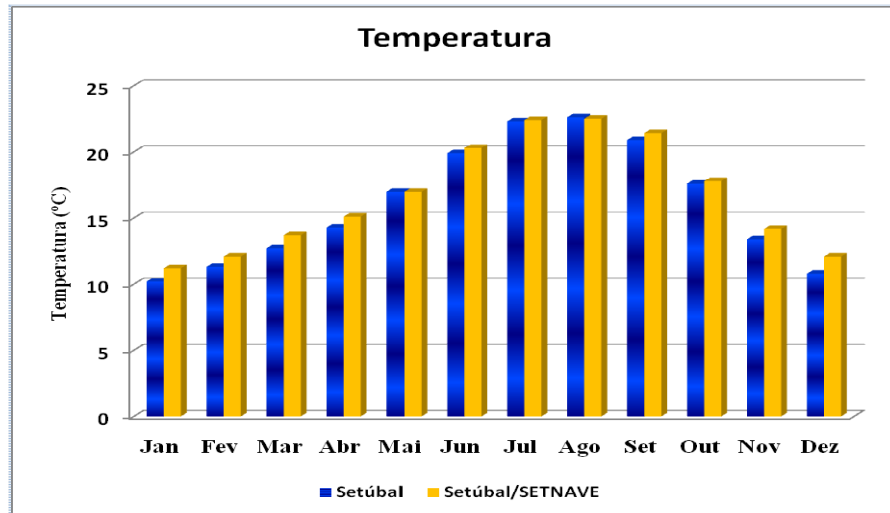
As temperaturas médias máximas e mínimas foram registadas nos meses de Agosto e de Janeiro, correspondendo, respectivamente, a 28,6°C e a 6,9°C.

Os valores máximos e mínimos extremos foram registados no meses de Julho e de Janeiro. No primeiro caso foi registado um valor de 39,7°C e no segundo foi registado um valor de -1,7°C.



Em termos anuais, o número de dias com temperatura mínima inferior a 0,0°C é de 0,5 dias e com temperatura máxima superior a 25,0°C é de 93,2 dias.

Na Figura 3-15 é apresentado o gráfico dos valores médios mensais da temperatura, registados nas duas estações climatológicas consideradas.



**Figura 3-15 – Temperatura Média Mensal registada nas estações climatológicas de Setúbal e de Setúbal/SETNAVE**

(Fonte: INMG, 1991).

Conforme se pode observar, praticamente não se verifica diferenças entre os valores registados pelas duas estações climatológicas. No entanto, entre Setembro e Abril os valores registados na segunda estação são ligeiramente superiores aos da primeira.

### **b.Precipitação**

#### **Estação de Setúbal**

Na zona onde esta estação está implantada, o período chuvoso tem lugar entre Novembro e Fevereiro, representado este cerca de 60% do total de precipitação anual.

O valor médio de precipitação total anual registado nesta estação foi de 734,5 mm, tendo ocorrido, em média, durante o ano 23,8 dias de precipitação diária superior a 10 mm. De acordo com o sistema clássico, o clima pode assim definir-se como Moderadamente Chuvoso ( $500\text{mm} < P < 1000\text{mm}$ ).

O valor máximo diário foi de 97,5 mm, e foi registado no mês de Outubro. O mínimo foi registado em Agosto e foi de 11,0 mm. Os meses mais secos correspondem a Junho, Julho, Agosto e Setembro.

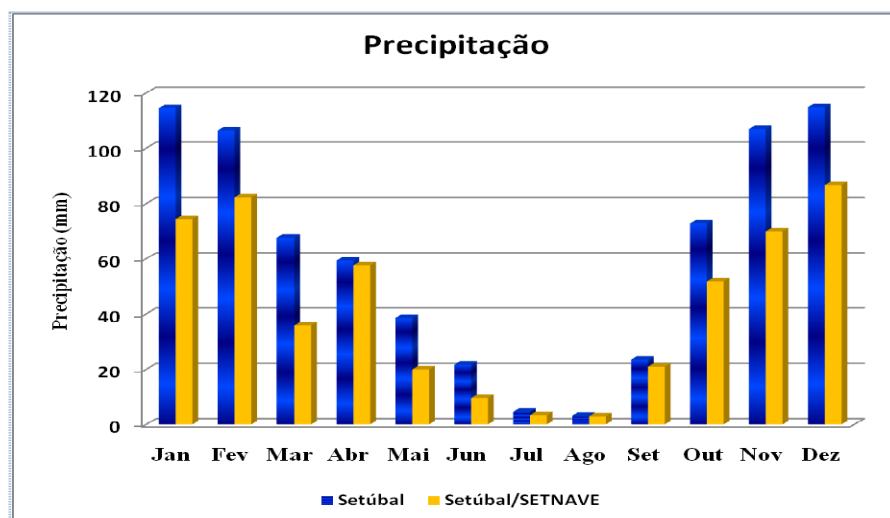
#### **Estação de Setúbal/SETNAVE**

O valor médio de precipitação total anual registado nesta estação foi de 515,4 mm, ocorrendo em média 17,3 dias anuais de precipitação superior a 10 mm. Embora se encontre muito próximo dos

500mm, ainda se pode definir como um clima Moderadamente Chuvoso ( $500\text{mm} < P < 1000\text{mm}$ ). Nesta estação climatológica, verifica-se a ocorrência de três meses secos: Junho, Julho e Agosto. É no mês de Agosto (3,0 mm) que se verifica a mínima concentração de precipitação. O contrário ocorre no mês de Dezembro (86,7 mm).

O valor máximo diário foi de 65,0 mm, que foi registado no mês de Dezembro. O período de maior precipitação ocorre entre Novembro e Fevereiro.

Na Figura 3-16 é apresentado o gráfico dos valores médios mensais de precipitação, registados nas duas estações climatológicas consideradas.



**Figura 3-16** – Precipitação Média Mensal registada nas estações climatológicas de Setúbal e de Setúbal/SETNAVE.

(Fonte: INMG, 1991).

Da análise do gráfico, verifica-se que a distribuição sazonal da precipitação nas estações consideradas é típica de clima Mediterrâneo. Caracteriza-se por uma maior concentração nos meses de Outubro a Março, sendo os meses de Dezembro/Janeiro e Julho/Agosto os meses mais húmidos e mais secos, respectivamente. De um modo geral, os valores médios mensais de precipitação, registados na estação de Setúbal, são mais elevados do que os registados na estação de Setúbal/SETNAVE, em particular no período mais chuvoso (entre Março e Outubro).

### c. Nevoeiro

#### Estação de Setúbal

Nesta estação, o número de dias que, em média ocorre, por ano é de 11 dias. Os maiores valores são registados entre o mês de Outubro e de Fevereiro.

### Estação de Setúbal/SETNAVE

De acordo com os valores registados por esta estação, o número de dias que, em média, ocorrem por ano é de 16,8 dias. No Verão são praticamente inexistentes, ocorrendo, em média, no máximo entre dois a 3 dias nos meses de Novembro a Fevereiro.

#### d.Nebulosidade

A nebulosidade e a insolação são dois parâmetros meteorológicos que estão intimamente associados, existindo uma relação inversa entre ambos. De facto, a insolação consiste no período de tempo que decorre quando o Sol está a descoberto num local definido, sendo a nebulosidade (N) expressa numa escala que varia entre o zero – céu limpo e o dez – céu encoberto.

#### Estação de Setúbal

Apresenta-se, no Quadro 3-8, o número de dias por ano e a frequência anual registados na estação de Setúbal para três classes de nebulosidade.

**Quadro 3-8** – Número de dias por ano e frequência anual registada na estação de Setúbal de cada uma das três classes de nebulosidade consideradas.

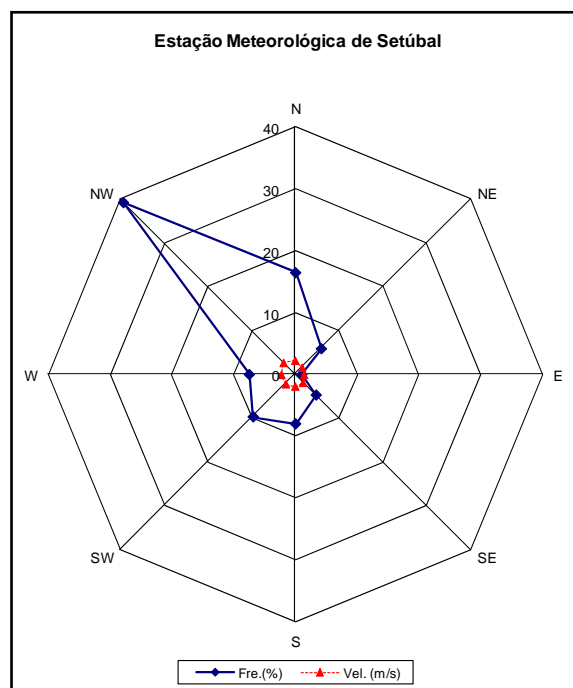
		<b>Céu Limpo (N&lt;2)</b>	<b>Céu Nublado (2&lt;N&lt;8)</b>	<b>Céu Muito Nublado (N&gt;8)</b>
<b>Setúbal</b>	N.º de dias por ano	160,50	111,50	93,00
	Frequência Anual (%)	43,97	30,55	25,48
<b>Setúbal/SETNAVE</b>	N.º de dias por ano	165,30	N.D.	57,60
	Frequência Anual (%)	45,28	N.D.	15,78

Conforme se pode verificar no Quadro 3-8, no caso da estação de Setúbal não se verifica uma diferença significativa no número de dias por ano e na frequência anual de cada uma das três classes de nebulosidade. Não obstante, na área de influência desta estação é o céu limpo que ocorre mais vezes ao longo do ano. No que diz respeito à estação Setúbal/SETNAVE, o número de dias e frequência anual de Céu Limpo é semelhante à registada na estação anterior. O mesmo não se verifica na classe Céu Muito Nublado, que ocorre significativamente menos que na estação de Setúbal.

#### e.Regime dos Ventos

#### Estação de Setúbal

Os ventos predominantes são do quadrante Noroeste (39,4%), seguindo-se os provenientes dos quadrantes Norte, Oeste e Sul (Figura 3-17). Os primeiros predominam ao longo de todo o ano, variando a frequência entre 20,6% em Dezembro e os 61,9% em Agosto.



**Figura 3-17** – Valores médios de velocidade e de frequência dos ventos registados na Estação Meteorológica de Setúbal.

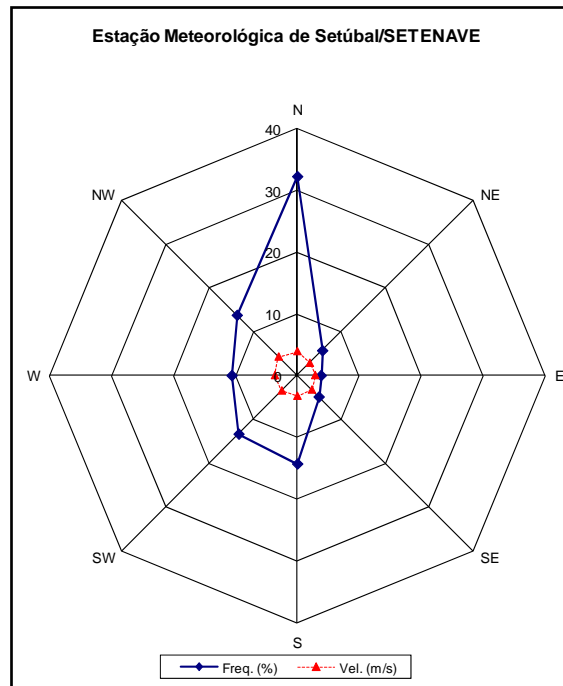
(Fonte: INMG, 1991).

Verifica-se assim que o local onde se encontra instalada esta estação climatológica sofre de menos influência dos ventos de Este, pois a frequência dos ventos dos quadrantes Este, Sudeste e Nordeste é muito baixa.

Em relação às velocidades médias mensais, podem considerar-se fracas pois os valores oscilam entre os 5,5 km/h e os 8,4 km/h. Em relação às situações de calma (velocidades do vento inferiores a 1 km/h), a sua frequência anual é de 7,3%. Embora a frequência seja reduzida, este tipo de situações está presente em todos os meses do ano, diminuindo nos meses de Maio a Agosto (Figura 3-19).

### **Estação de Setúbal/SETNAVE**

De acordo com os valores registados nesta estação, os ventos predominantes são do quadrante Norte, seguindo-se os provenientes dos quadrantes Sul, Noroeste, Sudoeste e Oeste (Figura 3-18). Os ventos de Norte e de Sul predominam ao longo de todo o ano (com frequência que variam entre 22,7% e 40,2%, e entre 11,3% e 20,8%, respectivamente), enquanto que os de Noroeste predominam também na estação quente (atingido frequências de 20,5%).



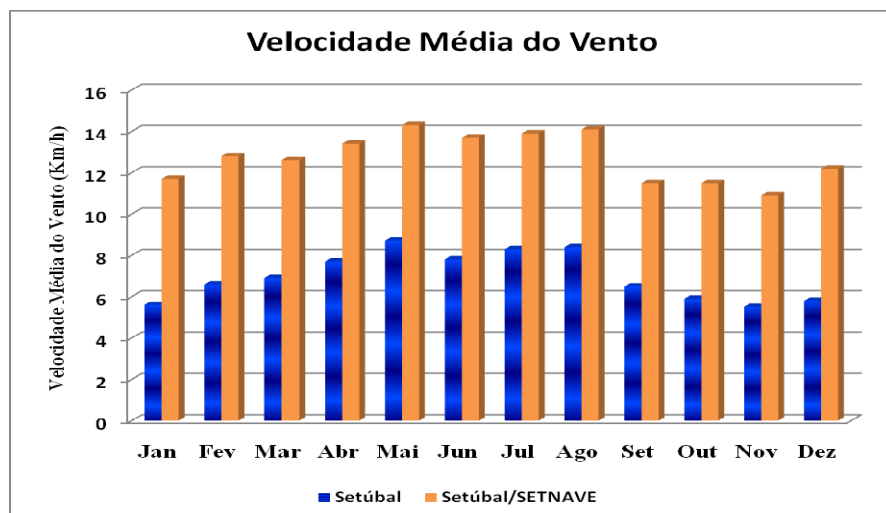
**Figura 3-18** – Valores médios de velocidade e de frequência dos ventos registados na Estação Meteorológica de Setúbal / SETENAVE.

(Fonte: INMG, 1991).

Verifica-se, portanto, que o local onde se encontra instalada esta estação climatológica sofre, igualmente, de fraca influência dos ventos do interior, pois a frequência dos ventos dos quadrantes Este, Sudeste e Nordeste é muito baixa.

No que diz respeito às velocidades médias, o registo mais elevado é de 15,3km/h e corresponde ao vento proveniente do quadrante de Noroeste. A média anual da frequência de situações de calmaria é de 1,1%. O número de dias por ano que, em média, as velocidades são superiores a 36km/h é de 4,9 dias.

Na Figura 3-19 apresenta-se a distribuição das velocidades médias dos ventos ao longo do ano, que foram registadas nas duas estações climatológicas consideradas.



**Figura 3-19** – Valores de velocidade e frequência dos ventos registados na Estação Meteorológica de Setúbal.

(Fonte: INMG, 1991).

Conforme se pode observar na Figura 3-19, as velocidades médias dos ventos na área de influência da estação de Setúbal/SETNAVE são, consideravelmente, superiores às ocorridas junto da estação de Setúbal. Não obstante, os registos indicam que a distribuição das velocidades é semelhante ao longo do ano. A velocidade média tende a aumentar entre Janeiro e Maio, diminuindo ligeiramente nos três meses seguintes e voltando a diminuir, mas de forma mais intensa, entre Setembro e Dezembro.

### Caracterização Microclimática

Os fenómenos microclimáticos observados em determinados locais resultam, essencialmente, das condições topográficas e da tipologia de uso do solo, e da influência destes factores sobre o modo como se manifestam os diferentes meteoros. Podem, assim, ocorrer pequenas variações dos elementos climáticos em diferentes locais da região, em resultado da ocorrência de microclimas. (C+P.A., 2005)

Em termos microclimáticos, a região onde se insere a área em estudo caracteriza-se por ser heterogénea e complexa. Por um lado, por se concentrarem nesta região diversos factores que têm capacidade para influenciar os meteoros. Por outro lado, pela complexidade com que esses mesmos factores interagem entre si para influenciar as condições climáticas locais.

A área em estudo insere-se numa zona de transição entre a faixa atlântica (a Oeste) e a faixa continental (a Este). A proximidade do mar faz com que as influências atlânticas se façam sentir fortemente, contudo também se verificam, frequentemente, influências mais continentais. Além destes dois elementos, estão também presentes, a Este, amplas zonas ribeirinhas que pertencem ao Estuário do Sado, e a Oeste está presente a Serra da Arrábida. O Estuário do Sado, encontra-se rodeado de planícies a Norte, a Sul e a Este, o que permite a circulação dos ventos de Norte, de Oeste e de Noroeste. Pelo contrário, a Serra da Arrábida (com orientação Oeste-Este) atenua a penetração dos ventos marítimos de Norte e de Noroeste, determinando a existência de dois microclimas diferentes: a

fachada Norte, com clima mais húmido e com menores amplitudes térmicas; e a fachada Sul com um clima tipicamente mediterrâneo, mais seco e mais quente (SECIL, 2007).

As principais ocorrências microclimáticas na região em estudo são assim determinadas, essencialmente, por factores morfológicos.

Conforme já foi referido, a Fábrica SECIL – Outão e a respectiva RMQA inserem-se numa zona com uma orografia complexa que, juntamente com outros factores, gera padrões meteorológicos complexos (Ferreira, 1998). A orografia complexa resulta da presença da Serra da Arrábida, da Serra de Louro e Serra de S. Francisco da Portela, do oceano e do Estuário do Sado. De acordo com o estudo DCEA (2003) a fábrica SECIL – Outão encontra-se encaixada num vale onde a topografia influencia de forma muito significativa a direcção e a velocidade do vento e, consequentemente, a forma como se dispersam os poluentes (Figura 3-2).

Apresenta-se, no Quadro 3-9, o resumo estatístico dos valores dos parâmetros velocidade e direcção do vento, temperatura, humidade relativa e radiação, registados nas estações meteorológicas e de qualidade do ar da RMQA da fábrica da SECIL – Outão e da CTS da EDP.

**Quadro 3-9** – Resumo estatístico dos valores dos parâmetros meteorológicos, registados nas estações meteorológicas e de qualidade do ar da RMQA da SECIL – Outão e da CTS da EDP.

Parâmetro	Estação Meteorológica		Estações de Qualidade do Ar				
	SECIL-Outão	CTS da EDP	Praias do Sado	São Filipe	Tróia	Hospital do Outão	Q. <sup>ta</sup> da Murteira
Tmédia <sup>1</sup> (°C)	18	17,1	—	—	19,6	19,4	18,4
Tmáxima (°C)	38	36,2	—	—	38,8	39,2	40,7
Tmínima (°C)	3	0,0	—	—	4,7	4,8	2,2
VVMédia <sup>2</sup> (m/s)	2,5	5,1	1,9	2,7	0,8	1,1	1,0
VVMáxima (m/s)	12,6	21,3	6,2	10,2	4,9	18,1	5,2
VVMínima (m/s)	0,1	0,6	0	0	0,0	0	0,0
DVDominante <sup>3</sup>	NNW (18%)	N (17%)	NW (18%)	NW (16%)	NW (19%)	SSW (26%)	WNW (18%)
HRMédia <sup>4</sup> (%)	—	71,8	—	—	—	—	—
HRMáxima (%)	—	94,1	—	—	—	—	—
HRMínima (%)	—	7,3	—	—	—	—	—
RSMédia <sup>5</sup> (W/m <sup>2</sup> )	—	181,3	—	—	—	—	—

Conforme se pode observar nos valores indicados no Quadro 3-9, verifica-se o seguinte:

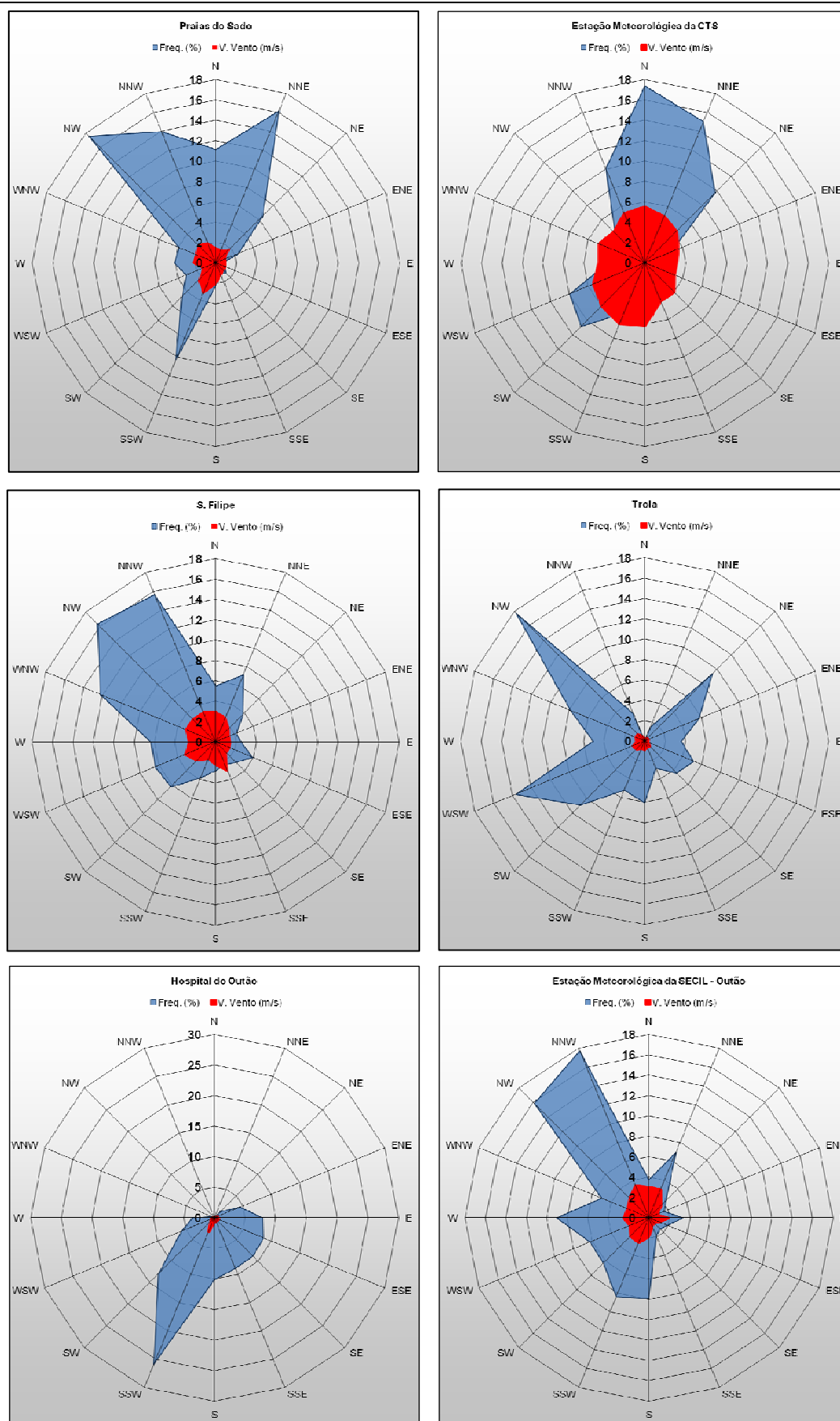
- Temperatura – os valores médios registados nas várias estações são semelhantes, contudo é na estação da CTS da EDP que ocorre a maior diferença; em relação aos valores máximos e mínimos é também nesta estação que ocorrem as maiores diferenças, registando sempre valores inferiores aos das restantes estações; destaca-se também a temperatura máxima

registada na Quinta da Murteira, a qual poderá estar relacionada com o facto da estação se encontrar menos sujeita ao efeito moderador do oceano;

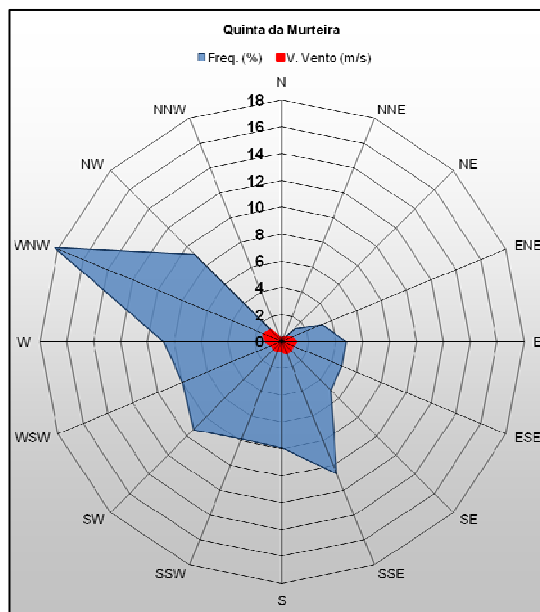
- Vento – mais uma vez, são os valores registados na estação meteorológica da CTS que se destacam: a velocidade média e a velocidade máxima são consideravelmente superiores aos valores registadas nas restantes estações; apenas o valor máximo registado na estação Hospital do Outão se aproxima do valor máximo registado na estação meteorológica da CTS; os valores médios indicados sugerem que as estações de Tróia, Hospital do Outão e Quinta da Murteira se encontram em zonas menos ventosas;
- Direcção do Vento Dominante – verifica-se que as direcções dos ventos dominantes ocorrem entre a direcção N e a direcção WNW, destacando-se a direcção de NW. Apenas uma estação difere da tendência registada, isto é, a estação do Hospital do Outão, onde a direcção do vento dominante é de SSW;
- Em relação aos restantes parâmetros, não é possível perceber as diferenças entre os diversos locais dado que apenas foram registados por uma única estação.

No sentido de melhor se perceber, em cada uma das estações, a distribuição dos ventos pelas várias direcções, apresenta-se na Figura 3-20 a rosa-dos-ventos para cada estação.





**Figura 3-20** – Rosas do Vento elaboradas com base nos registos de frequência (%) e de velocidade (m/s) registados nas EMQA e nas estações meteorológicas da Fábrica da SECIL-Outão e da CTS.



**Figura 3-20** (cont.) – Rosas do Vento elaboradas com base nos registos de frequência (%) e de velocidade (m/s) registados nas EMQA e nas estações meteorológicas da Fábrica da SECIL – Outão e da CTS.

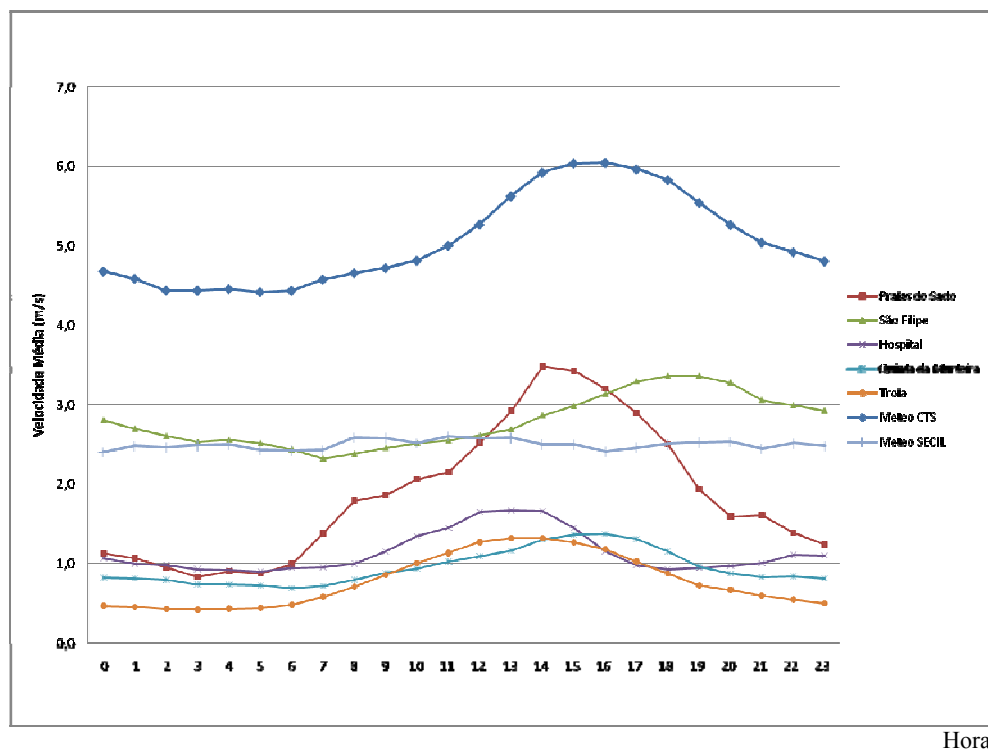
Observando as rosas-dos-ventos apresentadas na Figura 3-20, verifica-se que os diferentes valores de direcção e de velocidade do vento sofrem desvios ou condicionamentos, mesmo apesar das estações se encontrarem relativamente próximas. O factor que está na origem destas diferenças é a orografia extremamente irregular que se regista na Serra da Arrábida e em toda a sua zona envolvente. Interpretando os valores apresentados, verifica-se o seguinte:

- A nível das velocidades médias: é na estação meteorológica da CTS que foram registadas as velocidades médias mais elevadas (em particular os ventos vindos de Sul), seguindo-se as velocidades registadas nas estações de São Filipe e na estação meteorológica da SECIL – Outão; de um modo geral, verifica-se que as direcções onde as velocidades médias foram mais elevadas coincidem com as direcções onde se registaram as maiores frequências;
- Ao nível das frequências médias:
  - nas estações São Filipe, Hospital do Outão e Meteorológica da CTS verifica-se uma menor dispersão nas direcções dos ventos dominantes: na primeira estação, 44% dos ventos encontram-se entre as direcções WNW e NNW; na segunda estação, 49% dos ventos provêm das direcções S, SSE e SW; na terceira, 33% dos ventos têm origem nas direcções NW e NNW;
  - As estações Quinta da Murteira, Tróia e Praias do Sado são as que apresentam uma maior dispersão dos ventos pelas várias direcções: no primeiro caso, apesar da frequência dominante corresponder aos ventos que têm origem na direcção WNW, os valores registados indicam também uma frequência significativa numa direcção quase oposta, isto é, de SSE; no segundo caso, a maior frequência corresponde aos ventos oriundos de NW, contudo ocorrem também frequências elevadas das direcções de WSW e NE; finalmente, no terceiro caso as frequências

não diferem muito entre as direcções NW e NNE, tendo também sido registada uma frequência significativa na direcção SSW;

- Em síntese, podem distinguir-se três conjuntos de frequências dominantes: frequências de NW e NNW registadas nas estações de São Filipe, Tróia e Meteorológica da SECIL-Outão; e frequências de NW a NNE nas estações de Praias do Sado e Meteorológica da CTS. As frequências registadas nas estações da Quinta da Murteira do Hospital do Outão diferem das restantes;
- Finalmente, merecem também referência as frequências dos ventos que se enquadram entre a direcções S e SW. Foram registadas frequências significativas nestas direcções em quase todas as estações consideradas. Estas frequências estão, provavelmente, relacionadas com as brisas marítimas pois, segundo Ferreira (2001), na região em causa a variação das direcções dos ventos em altitude e ao longo do dia é consistente com o efeito diário da brisa marítima, o qual pode chegar a ser, em muitos dias, mais importante do que o padrão normal de circulação da atmosfera.

Na Figura 3-21 apresenta-se o perfil horário das velocidades médias dos ventos, registadas nas estações consideradas.



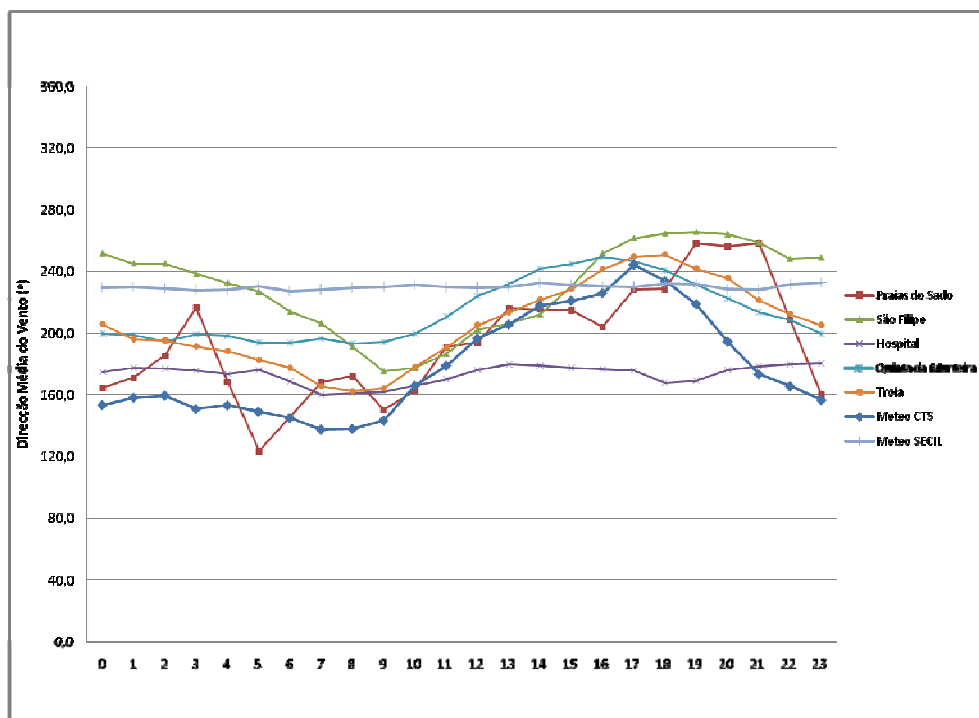
**Figura 3-21** – Perfil horário das velocidades (m/s) dos vento registados nas EMQA e nas estações meteorológicas da fábrica SECIL – Outão e da CTS.

No gráfico apresentado na figura anterior pode constatar-se o seguinte:

- De um modo geral, verifica-se que a velocidade média do vento tende a ser mais elevada no período diurno e mais reduzidas no período nocturno, o que indica uma forte influência da radiação solar na deslocação das massas de ar;
- Na área de influência das estações de Tróia, Quinta da Murteira, Hospital do Outão, Praias do Sado e meteorológica da CTS, o aumento da velocidade do vento ocorre, aproximadamente, entre as 6 horas e as 14/15 horas. Em relação à área de influência da estação de São Filipe, o período em que ocorre o aumento da velocidade é mais alargado (entre as 7 horas e as 19 horas). Finalmente, na área de influência da estação meteorológica da SECIL – Outão, verifica-se que a velocidade média do vento se mantém, praticamente, constante ao longo das 24 horas;
- De acordo com os registos efectuados pelas estações, verifica-se uma reduzida variação da velocidade média ao longo do dia. Constituem uma excepção os valores registados pelas estações localizadas mais a Este na região em estudo, isto é, a estação meteorológica da CTS e a EMQA. Nestas estações a velocidade do vento tende a aumentar consideravelmente no período diurno;
- Em consonância com o referido nas análises anteriores, é na área de influência da estação meteorológica da CTS que ocorrem velocidades médias mais elevadas dos ventos.

Os resultados apresentados revelam-se importantes, pois permitem perceber o modo como pode ser influenciada a dispersão e para onde se poderá dirigir a pluma de poluição gerada pelas várias fontes de poluição atmosférica.

Na Figura 3-22 apresenta-se o perfil horário da direcção do vento (0 – 360°), registadas nas estações consideradas.



**Figura 3-22** – Perfil horário das direcções (graus) dos vento registados nas EMQA e nas estações meteorológicas da fábrica SECIL – Outão e da CTS.

De um modo geral, verifica-se que a direcção média do vento registada no período diurno difere da registada no período nocturno, em todas as estações com excepção da estação meteorológica da SECIL-Outão. No conjunto, os valores indicados sugerem que a radiação solar tem influência na direcção dos ventos. Segundo Ferreira (1998), quando o aquecimento das massas de ar é maior em terra, as correntes termais tendem a elevar-se. Este efeito obriga a que nas baixas altitudes os ventos venham do oceano, originando a brisa marítima. Por sua vez, a elevadas altitudes as massas de ar dirigem-se para o oceano, originando um ciclo que se completa quando as mesmas descem sobre o oceano.

### 3.4.2. Dispersão atmosférica segundo o modelo matemático aplicado às emissões do complexo fabril da SECIL-Outão

Conforme já referido, no ano de 2006 foi realizado um estudo de dispersão atmosférica às emissões provenientes de onze fontes emissoras existentes no Complexo fabril da SECIL-Outão. Neste estudo foi aplicado um modelo designado de “Industrial Source Complex Short Term Model – Plume Rise Model Enhancements”

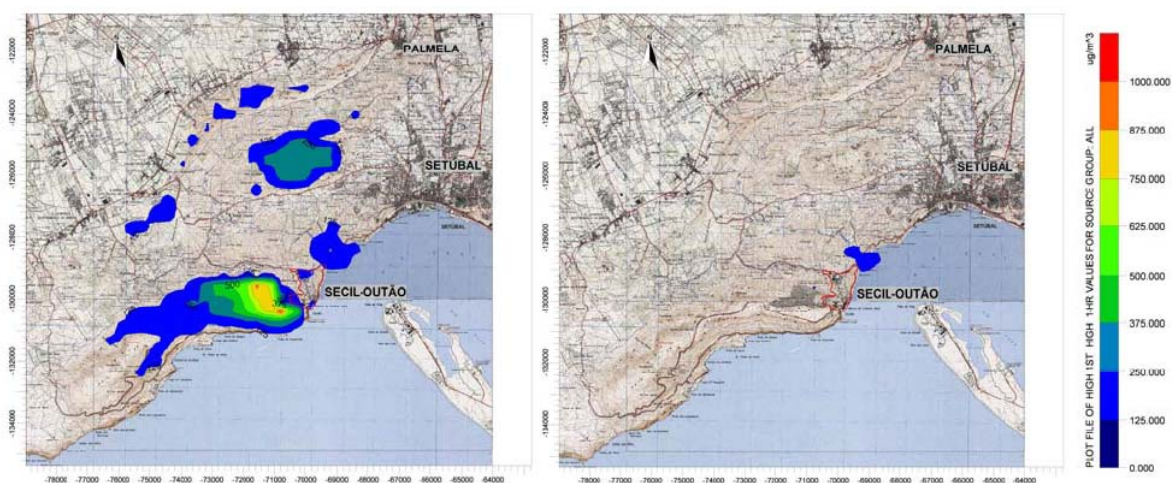
O modelo baseou-se numa malha cartesiana de 1155 receptores (400 x 400 metros) que abrange a área do complexo e respectiva envolvente, e contempla a Serra da Arrábida, a península de Tróia e as áreas urbanas de Setúbal e Palmela.

O estudo foi efectuado para os seguintes poluentes: Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO) e Partículas Totais em Suspensão (PTS).

As simulações numéricas realizadas apontam para as seguintes considerações sobre os factores que mais influenciaram a dispersão dos poluentes na região em estudo:

- A topografia revelou-se o factor com maior relevância nas concentrações estimadas pelo modelo. Os valores mais elevados coincidiram geralmente com as zonas de terreno mais elevado. Os resultados obtidos com a análise de sensibilidade do modelo aos dados topográficos, na qual se procedeu à simulação do cenário base com e sem de topografia, verificou-se que os resultados se traduziram numa redução de cerca de 80% nos valores em terreno plano, relativamente ao valor máximo horário obtido com as simulações efectuadas com topografia, bem como um padrão do campo de concentrações completamente diferente;
- A direcção do vento ao longo do período considerado foi predominantemente de Norte/Nordeste. Este facto também influenciou os resultados, com a obtenção de algumas áreas abrangidas por valores mais elevados a Sul e Sudoeste do Complexo Fabril.

Na Figura 3-23 apresentam-se os resultados obtidos com a análise de sensibilidade do modelo aos dados topográficos. Os resultados são esclarecedores quanto ao impacte causado pela presença da orografia no campo de concentrações simulado.



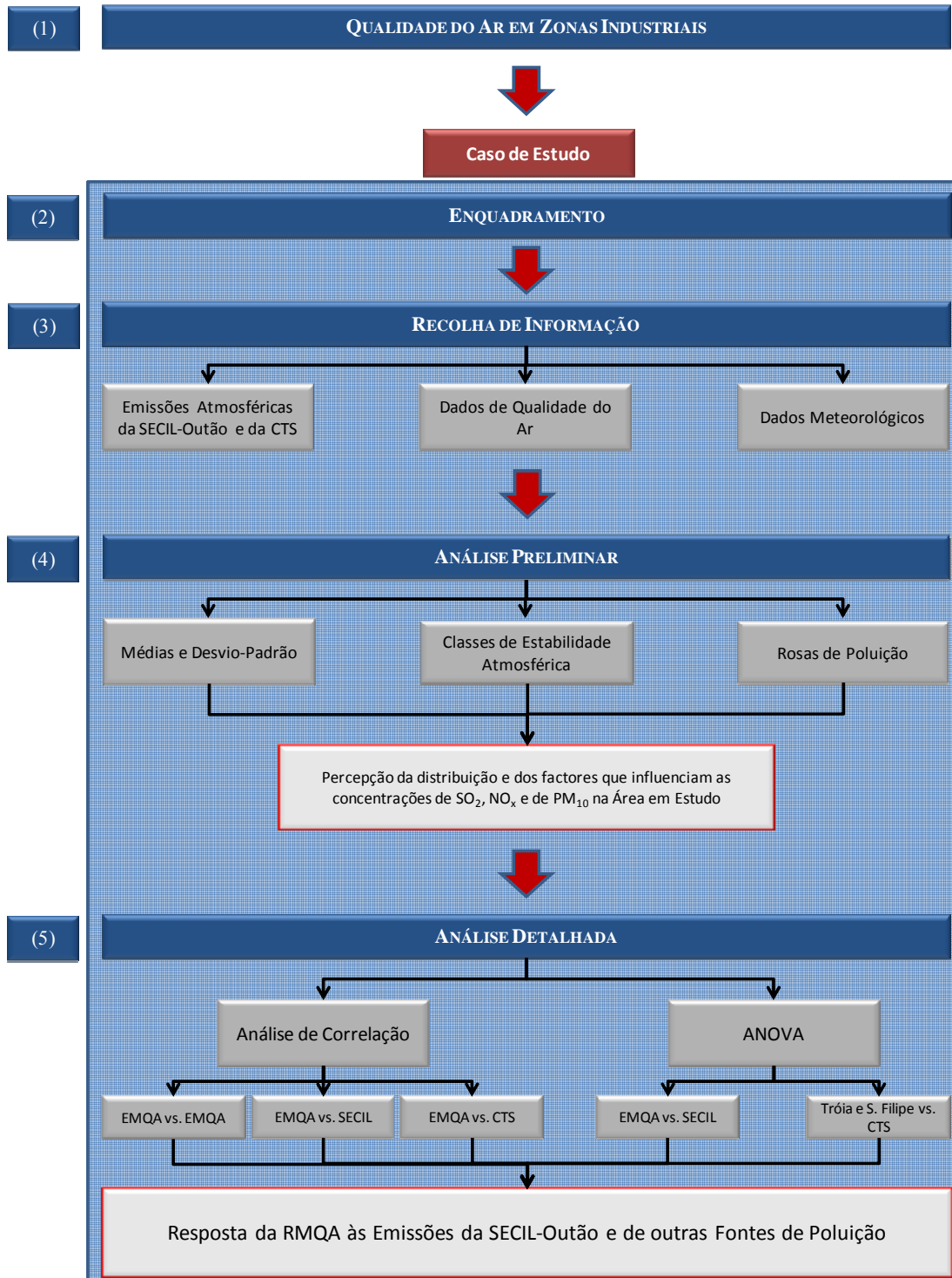
**Figura 3-23** – Campo estimado das concentrações máximas horárias de NO<sub>2</sub> verificadas para o ano de 2004 na envolvente do complexo fabril SECIL-Outão: com topografia (esquerda) e sem topografia (direita).

Fonte: (SECIL, 2006)

De acordo com a figura anterior, verifica-se que a orografia influencia, de forma significativa, as concentrações de NO<sub>2</sub> a Norte e a Oeste e Sudoeste do complexo fabril SECIL-Outão.

## 4. METODOLOGIA

A Figura 4-1 ilustra a metodologia que foi seguida neste trabalho, que teve como ideias fundamentais enquadrar o tema e a sua relevância no primeiro bloco de etapas para, de seguida, analisar o caso de estudo. Posteriormente, descrevem-se cada uma das etapas indicadas no esquema.



**Figura 4-1** – Metodologia geral seguida no presente trabalho.



Na primeira etapa procedeu-se a uma revisão dos estudos/trabalhos que têm sido desenvolvidos sobre a qualidade do ar em zonas industriais, e cujos resultados fornecem informação fundamental para o correcto entendimento e interpretação do problema e sub-problemas em análise. O desenvolvimento desta primeira etapa encontra-se descrita no Capítulo 2 do presente documento.

Na segunda etapa procedeu-se ao enquadramento e à caracterização das matérias colaterais ao objectivo central da tese, mais relevantes para a sua boa compreensão. O conteúdo desenvolvido encontra-se descrito no Capítulo 3 do presente documento. Neste capítulo encontra-se também descrita a informação base recolhida e considerada, designadamente: os poluentes atmosféricos, as estações meteorológicas e as RMQA consideradas, bem como o período escolhido para a análise.

A quarta e quinta etapa encontram-se descritas no presente capítulo e consistem em:

- **Análise Preliminar** – esta análise consistiu no tratamento estatístico genérico dos dados de base, de modo a se obter uma perspectiva geral sobre a distribuição das concentrações dos poluentes em análise pela área em estudo e da influência de alguns factores ambientais nessa mesma distribuição;
- **Análise Detalhada** – esta análise materializa o objectivo central do presente trabalho. É aqui realizado o tratamento dos dados recorrendo a duas técnicas estatísticas para avaliar a existência de uma relação causal e directa entre as emissões de poluentes atmosféricos da Fábrica SECIL – Outão, e os valores de qualidade do ar que são registados na rede de monitorização que lhe está associada.

Descreve-se, de seguida, detalhadamente para cada uma destas duas etapas, os vários métodos utilizados no tratamento e interpretação dos dados de qualidade do ar registados nas RMQA da área em estudo e dos dados referentes ao funcionamento da fábrica SECIL-Outão e da CTS.

#### **4.1. ANÁLISE PRELIMINAR**

Nesta etapa foram realizadas as seguintes análises:

1. Análise dos valores médios e dos desvio-padrão das concentrações de cada um dos poluentes considerados, registados nas várias EMQA;
2. Análise dos valores médios para três classes de estabilidade atmosférica;
3. Análise de Rosas de Poluição para cada poluente e para cada EMQA.

Apresenta-se, de seguida, uma explicação de cada uma destas análises e do modo como foram aplicadas ao presente estudo.

##### **4.1.1. Análise dos valores médios e dos desvios-padrão**

Esta **primeira análise** tem como objectivo perceber a variação dos valores de concentração de cada poluente, registados em cada uma das EMQA consideradas. Esta análise resulta de um tratamento estatístico simples, onde se determina a média e o desvio-padrão dos intervalos de valores de cada



poluente, registados em cada EMQA. Para cada poluente é apresentado um gráfico com os valores daqueles parâmetros estatísticos, determinados a partir dos registos obtidos nas várias EMQA, de modo a visualizarem-se as diferenças.

Todos os parâmetros estatísticos indicados foram calculados directamente a partir dos valores médios horários de cada poluente registados nas EMQA. Para o cálculo não foram considerados os valores nulos.

#### **4.1.2. Análise dos valores médios para três classes de estabilidade atmosférica**

Esta **segunda análise** destina-se a avaliar a dispersão dos poluentes na atmosfera no período em análise, com base nas classes de estabilidade da atmosfera. Estas classes foram determinadas a partir dos valores de radiação solar ( $\text{W/m}^2$ ) e de velocidade do vento ( $\text{m/s}$ ), registados na estação meteorológica pertencente à RMQA da CTS da EDP. A identificação da classe de estabilidade teve por base a matriz de Pascalli, que se apresenta no Apêndice II. Nesta matriz, para cada valor de radiação solar e de velocidade do vento é indicada a classe de estabilidade correspondente. As classes de estabilidade consideradas foram:

- A – Muito Instável;
- B – Moderadamente Instável;
- C – Ligeiramente Instável;
- D – Neutro;
- E – Ligeiramente Estável;
- F – Moderadamente Estável.

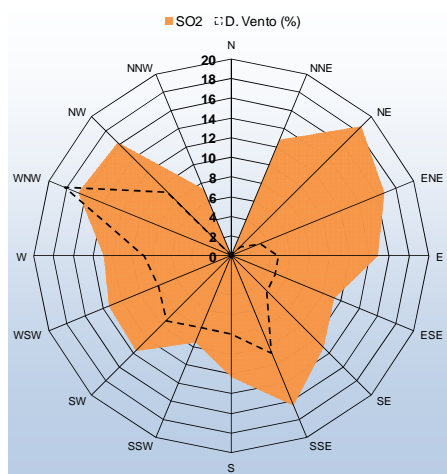
Os resultados obtidos são apresentados em dois gráficos: o primeiro permite visualizar a frequência de cada classe de estabilidade no período em análise; o segundo corresponde a um perfil horário (24h) das frequências de cada classe, para o período em análise.

Finalmente, para avaliar o efeito de dispersão de poluentes das condições de estabilidade da atmosfera foram determinadas, para cada EMQA, as médias globais das concentrações de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$  correspondentes a duas classes de estabilidade extremas (A e B e E ou F) e à classe de estabilidade neutra (D). Mais uma vez, os resultados são apresentados em gráficos para mais facilmente ser possível visualizar o efeito causado pelas classes de estabilidade nos registos efectuados nas várias EMQA consideradas.

#### **4.1.3. Análise de Rosas de Poluição**

Finalmente, recorre-se ao processamento direccionado da informação para determinar a origem das concentrações de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ , que foram registadas em cada EMQA. Este processamento direccionado consiste em associar à direcção dos ventos registada nas EMQA, os valores das concentrações daqueles poluentes. No final, obtém-se um gráfico semelhante ao da rosa-dos-ventos,

onde os valores médios da velocidade do vento são substituídos pelos valores médios das concentrações. Estes gráficos têm o nome de rosa de poluição (Figura 4-2).



**Figura 4-2** – Exemplo de uma rosa de poluição para o poluente SO<sub>2</sub>.

Esta análise destina-se a determinar, graficamente, a existência de uma relação entre os valores das concentrações mais elevadas dos poluentes atmosféricos, que são registados nas EMQA, e as principais fontes de poluição atmosférica. Ora, esta situação apenas pode ocorrer se os poluentes emitidos para a atmosfera se deslocarem em linha recta entre a fonte de emissão e os receptores que, neste caso, correspondem às EMQA. Muito embora este aspecto constitua uma limitação à análise, a execução desta técnica revela-se extremamente útil numa primeira abordagem, pois permite:

- Verificar se existe alguma evidência clara das EMQA estarem a detectar a poluição atmosférica causada por determinada fonte de poluição;
- Despistar a existência de outras fontes de poluição mais próximas, que podem estar a influenciar os registos efectuados nas EMQA.

Para a realização desta análise foram utilizados os seguintes dados de base:

- Médias horárias das direcções dos ventos que foram registadas nas EMQA;
- Médias horárias das concentrações de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> registadas.

Por motivos óbvios, esta análise apenas foi aplicada à informação fornecida pelas estações que registam, simultaneamente, as concentrações daqueles poluentes e a direcção dos ventos. Foram, assim, consideradas as seguintes EMQA:

- Hospital Ortopédico do Outão;
- Quinta da Murteira;
- São Filipe;
- Tróia;
- Praias do Sado.

## 4.2. ANÁLISE DETALHADA

Conforme já referido, é nesta etapa que é materializado o objectivo central do presente estudo. Nesta análise recorre-se a duas técnicas estatísticas para avaliar a existência de uma relação causal e directa entre as emissões de poluentes atmosféricos da Fábrica SECIL – Outão, e os valores de qualidade do ar que são registados na rede de monitorização que lhe está associada. As duas técnicas seleccionadas foram:

1. **Análise de Correlações;**
2. **Análise de Variância** ou ANOVA.

Apresenta-se, de seguida, uma explicação de cada uma destas técnicas, dos seus fundamentos teóricos e do modo como foram aplicadas ao presente estudo.

### 4.2.1. Análise de Correlações

Este análise baseia-se no coeficiente de correlação de Pearson's, que é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis, ou seja, consiste numa técnica estatística que estima a correlação entre duas variáveis  $X$  e  $Y$ .

Este coeficiente pode variar entre -1 e 1 e podem distinguir-se as seguintes situações:

- a correlação de 1 indica que a equação linear descreve uma relação perfeita e positiva, onde todos os valores se encontram na mesma linha, e onde os valores de  $Y$  aumentam com os valores de  $X$ ;
- a correlação de -1 significa que existe uma relação linear perfeita e negativa entre as variáveis, e que todos os pontos se encontram numa mesma linha, contudo os valores de  $Y$  diminuem quando os valores de  $X$  aumentam;
- a correlação de 0 indica que o modelo linear é inapropriado para descrever a relação entre as duas variáveis. Significa, portanto, que não existe uma relação linear entre as duas variáveis, pelo que se consideram linearmente independentes;
- todos os restantes valores indicam o grau de dependência linear entre as variáveis. Estas serão as situações mais comuns pois raramente se encontram correlações entre duas variáveis com valores exactos de -1, 0 e 1.

Se tivermos uma amostra com uma série de  $n$  observações de  $X$  e de  $Y$ , definidas como  $x_i$  e  $y_i$ , onde  $i = 1, 2, \dots, n$ , então o coeficiente de correlação de Pearson pode ser usado para estimar a correlação entre  $X$  e  $Y$ . O coeficiente de Pearson's é também conhecido como o coeficiente de correlação de uma amostra. Esta técnica estatística é definida com base na seguinte equação:

$$(1) \quad r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n - 1)s_x s_y},$$

onde,

$\bar{x}$  = média da amostra de X

$\bar{y}$  = média da amostra de Y

$s_x$  = Desvio-padrão da amostra X

$s_y$  = Desvio-padrão da amostra Y

e a soma é de  $i=1$  até  $n$ .

A análise de correlações foi utilizada no sentido de avaliar a existência de correlação temporal entre as várias EMQA e entre estas e as emissões das duas fontes pontuais mais importante (SECIL-Outão e CTS). A aplicação desta técnica estatística seguiu, assim, três abordagens:

- Avaliar a existência de correlação entre as EMQA das RMQA consideradas, no sentido de averiguar se existe mais do que uma estação de monitorização a fornecer a mesma informação;
- Avaliar a existência de correlação entre a EMQA da RMQA em estudo e as emissões da Fábrica SECIL – Outão, no sentido de averiguar se existem estações que estão a monitorizar de forma eficaz as emissões daquela unidade industrial;
- Avaliar a existência de correlação entre as EMQA da RMQA da Fábrica SECIL – Outão e as emissões da CTS da EDP, para que se possa averiguar se alguma estação responde melhor à poluição causada por aquela central do que a que é causada pela Fábrica SECIL – Outão.

Cada uma destas avaliações foi realizada para cada um dos poluentes atmosféricos considerados. Tal significa que foram realizadas três correlações para cada destas três avaliações.

A avaliação destas correlações teve por base a seguinte informação:

- **Médias diárias das concentrações de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub>** registadas em cada EMQA;
- **Médias diárias das concentrações de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub>** emitidas pela **Fábrica SECIL – Outão**;
- **Caudal total de efluentes gasosos** emitidos pela **Fábrica SECIL – Outão**, que corresponde à soma dos caudais gasosos resultantes das principais linhas de produção (Linha 8 e Linha 9).
- **Nível de funcionamento da CTS da EDP**, em percentagem da capacidade máxima.

Os resultados são apresentados na forma da seguinte matriz tipo, onde o X e o Y correspondem às variáveis a correlacionar:

		X	Y
X	Correlação de Pearson's		
Y	Correlação de Pearson's		

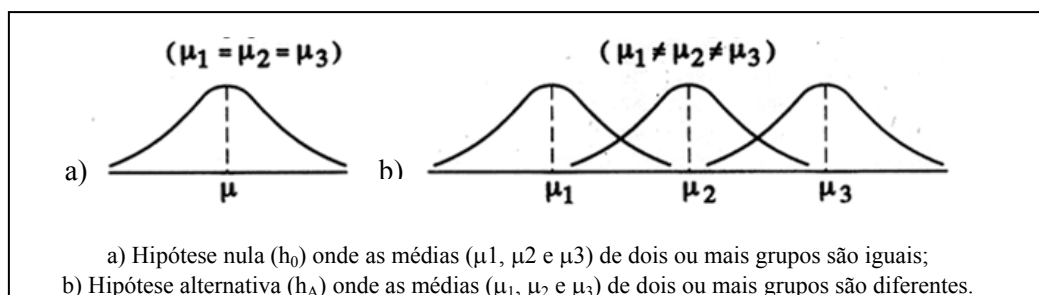
Para cada matriz é apresentado um quadro que descreve, estatisticamente, os valores de X e de Y. Nesse quadro são apresentadas as médias, os desvio-padrão e número de observações consideradas na análise (N).

#### 4.2.2. Análise de Variância

A **ANOVA** é uma análise estatística que permite avaliar a existência ou não de diferenças entre médias. Baseia-se no cálculo da razão da variação entre grupos com a variação nos grupos, grupos estes estabelecidos de acordo com um ou mais factores. Um grupo consiste numa amostra aleatória simples que é retirada de cada população e os dados são utilizados para testar a hipótese nula de que as médias das populações são todas iguais. A ANOVA é, portanto, usada para testar a hipótese de que as médias de dois ou mais grupos de observações têm origem em populações com a mesma média verdadeira ou, em alternativa, testar se há uma maior variação nas médias dos grupos do que aquela que seria esperada (Figura 4-3).

Quando a variação entre os grupos é mais elevada do que a variação nos grupos, tal significa que as médias tendem a ser consideradas iguais. A conclusão é determinada através de um procedimento que testa a hipótese nula onde a razão das duas variâncias é comparada com o F estatístico, que traduz a medida da variabilidade nas variâncias estimadas (Berthouex e Brown, 1994 in Ferreira, 1998).

Usando este modelo linear é, assim, possível testar a hipótese nula acerca dos efeitos de um determinado factor nas médias de diversos grupos de valores de uma determinada variável dependente. Permite também investigar se existe interacção entre factores, bem como o efeito individual de cada factor.



**Figura 4-3** – Teste de hipóteses realizado na ANOVA.

O modelo que sustenta a ANOVA assume que cada observação é constituída por várias componentes:

- Existem  $k$  grupos e  $n_i = 1, \dots, k$  observações onde o  $i$  corresponde ao grupo a que pertence. Nesse sentido, temos:

$$(1) \quad X_{ij} = \bar{X}_T + (\bar{X}_i - \bar{X}_T) + (X_{ij} - \bar{X}_i).$$

onde,

$X_{ij}$  = observação  $j$  no grupo  $i$

$\bar{X}_T$  = média total (de todas as observações de todos os grupos)

$(\bar{X}_i - \bar{X}_T)$  = desvio entre os grupos (diferença entre a média do grupo i e a média total)

$(X_{ij} - \bar{X}_i)$  = desvio nos grupos (diferença entre a observação j e a média do grupo i)

Cada uma destas médias são, por sua vez, definidas do seguinte modo:

$$(2) \quad \bar{X}_T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij},$$

$$(3) \quad \bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}, \quad i = 2, \dots, k,$$

Onde,

$$(4) \quad N = \sum_{i=1}^k n_i,$$

corresponde ao número total de observações.

b. A variabilidade total dos dados pode ser decomposta em duas componentes:

$$(5) \quad \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_T)^2 = \sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{X}_T)^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

o que corresponde a:

$$(6) \quad \text{Total } SQ = SQ_E + SQ_N$$

onde,

**Total SQ** = soma dos quadrados (soma do desvio padrão de cada observação em cada grupo, relativamente à média total);

**SQ<sub>E</sub>** = soma dos quadrados entre os grupos (soma dos desvios padrão de cada grupo relativamente à média total);

**SQ<sub>N</sub>** = soma dos quadrados nos grupos (soma dos desvios padrão no grupo relativamente à média do grupo).

Por sua vez, a soma dos quadrados entre os grupos e nos grupos é ajustada a apropriados graus de liberdade, para produzir a seguinte variância:

$$(7) \quad MS_E = \frac{SQ_E}{df_E} = \frac{SQ_E}{k - 1}$$

$$(8) \quad MS_N = \frac{SQ_N}{df_N} = \frac{SQ_N}{N - k}$$

- c. Finalmente, o F estatístico fornece uma medida da variabilidade entre os grupos relativamente à variabilidade nos grupos e é calculado do seguinte modo:

$$(9) \quad F = \frac{MS_E}{MS_N}$$

O nível de significância ( $P$ ) é determinado a partir da razão entre o F e os graus de liberdade ( $N - 1$ ).

As diversas ANOVAS serão realizadas para um grau de confiança de 95%, o que corresponde a um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05. O nível de significância  $P$ , determinado em cada ANOVA, será, por sua vez, comparado com o nível significância  $\alpha$  para testar a hipótese nula ( $h_0$ ) de que as médias das populações são estatisticamente iguais. Esta hipótese será aceite sempre que o valor de  $P$  seja superior ao valor de  $\alpha$ , ou seja, a 0,05. Quando o valor de  $P$  é inferior a  $\alpha$  então rejeita-se  $h_0$ , e aceita-se a hipótese alternativa ( $h_A$ ), que significa que pelo menos uma das médias é diferente. Neste caso confirma-se a existência de um efeito do factor nas médias dos vários grupos.

Para que se possa aplicar a ANOVA a um conjunto de valores é necessário respeitar o seguinte conjunto de pressupostos:

- A recolha das amostras deve ser aleatória (no espaço e no tempo);
- As observações devem provir de uma população com uma distribuição normal;
- A média e o desvio-padrão da(s) população(ões) em causa são desconhecidos;
- Os desvio-padrão da(s) população (ões) em causa são considerados iguais.

Para o presente trabalho foi aplicada a ANOVA a um factor. Esta ANOVA consiste na análise da variância de uma variável quantitativa dependente mediante a aplicação de um único factor (independente) variável. A variável dependente consiste num intervalo de valores e uma ou mais categorias definem os grupos. Estas categorias estabelecem os factores que dividem a população em grupos.

Para cada ANOVA a um factor executada é apresentado o seguinte quadro tipo:

	Soma dos Quadrados	df	F	Significância
Entre os Grupos	$SQ_E$	$k - 1$	$F = \frac{MS_E}{MS_N}$	$\frac{F}{N - 1}$
Nos Grupos	$SQ_N$	$N - k$		
Total	$Total\ SQ$	$N - 1$		

No sentido de avaliar o efeito das emissões de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> da fábrica SECIL – Outão nos registos efectuados pelas estações da respectiva RMQA, foi executada uma ANOVA a um factor para cada EMQA e para cada poluente atmosférico considerado. Tal significa que, para cada EMQA, foram executadas três ANOVA a um factor (uma para cada poluente atmosférico).

Recorreu-se à seguinte informação base para a execução de cada ANOVA:

- **Concentrações de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub>** registadas na RMQA da Fábrica da SECIL – Outão;
- **Direcção dos ventos** registadas na RMQA da Fábrica da SECIL – Outão;
- **Caudal total de efluentes gasosos** emitidos pela Fábrica SECIL – Outão, que corresponde à soma dos caudais gasosos resultantes das principais linhas de produção (Linha 8 e Linha 9).

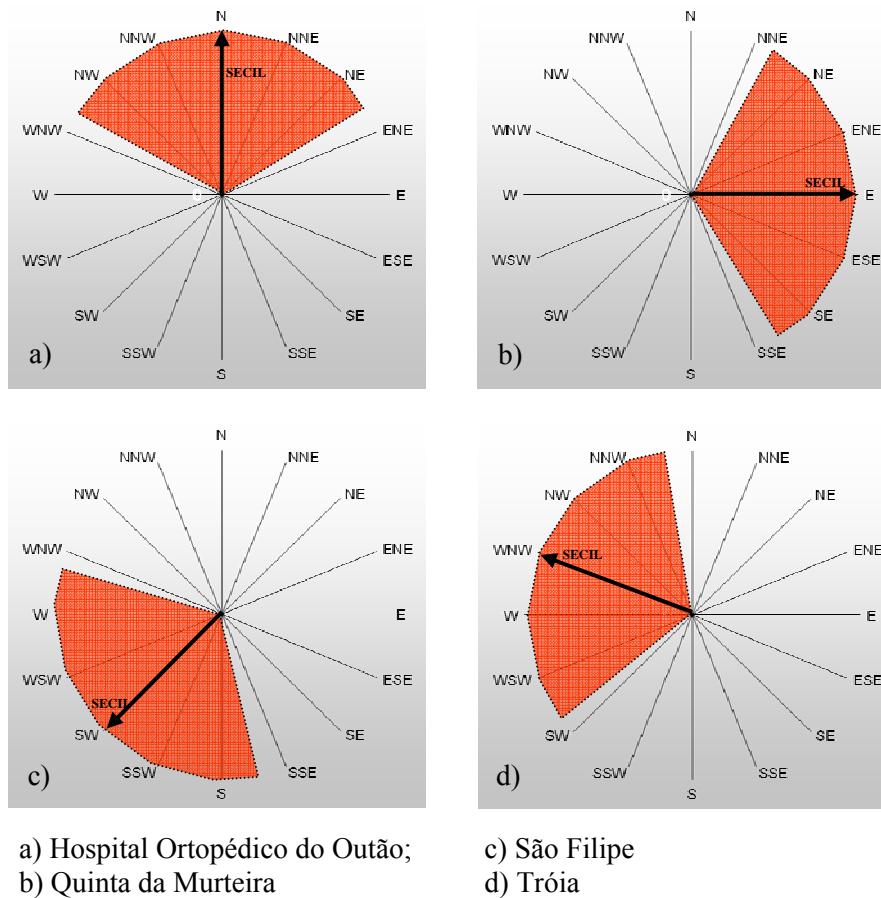
Com excepção do caso da EMQA instalada no Hospital Ortopédico do Outão, foram utilizados os valores médios diários para a realização das várias ANOVA's. Foram escolhidos estes valores por se considerar que os valores médios horários podem não traduzir a influência da média horária dos caudais dos efluentes gasosos emitidos pela Fábrica SECIL – Outão.

No caso da EMQA instalada no Hospital Ortopédico do Outão, houve necessidade de recorrer às médias horárias por não existirem valores médios diários suficientes para se poder realizar a análise. Contudo, neste caso, considerou-se que as médias horárias são adequadas pois esta EMQA encontra-se a apenas 1 km de distância da Fábrica SECIL – Outão. Esta distância pode ser facilmente percorrida no período de uma hora, mesmo em condições de ventos com velocidades baixas.

A direcção dos ventos foi utilizada no sentido de limitar a execução da ANOVA aos registos que foram efectuados pelas estações apenas quando os ventos assumiam a direcção da Fábrica SECIL – Outão. Embora este aspecto possa constituir uma limitação da análise, dado que nem sempre as massas de ar se deslocam em linha recta, destinou-se a remover da análise o efeito que outras fontes de poluição podem ter nos registos efectuados pelas EMQA. Em todas as estações foi considerado um intervalo de 120°, em que o valor central (60°) corresponde à direcção em que se encontra a Fábrica SECIL – Outão relativamente à EMQA.

Na Figura 4-4, indicam-se os intervalos da rosa-dos-ventos que foram considerados para cada EMQA.





**Figura 4-4** – Intervalos da rosa-dos-ventos que foram considerados para cada EMQA para seleccionar os registos a submeter à ANOVA.

Finalmente, o **caudal total de efluentes gasosos** emitidos pela Fábrica SECIL – Outão foi utilizado para definir o nível da quantidade de poluentes emitido por esta unidade industrial. Assumiu-se que a quantidade de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$  emitida é proporcional ao caudal dos efluentes gasosos emitido.

Na ANOVA a um factor o valor do caudal de efluentes gasosos constitui o factor. Este por sua vez, é utilizado para definir três grupos/níveis, cada um corresponde a um intervalo de valores de caudais. No Quadro 4-1 indicam-se os caudais estabelecidos para cada grupo.

**Quadro 4-1** – Intervalos de caudais de efluentes gasosos estabelecidos para os níveis/grupos considerados na ANOVA a um factor.

Nível/Grupo	Intervalo de Caudais ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )
1	$[0, 267 \times 10^3 [$
2	$[267 \times 10^3, 533 \times 10^3 [$
3	$[533 \times 10^3, 800 \times 10^3 [$

Finalmente, considerou-se importante executar um segundo conjunto de ANOVA's a um factor para verificar se existe efeito da CTS da EDP (principal fonte de emissão de  $\text{SO}_2$ ) nas concentrações de  $\text{SO}_2$

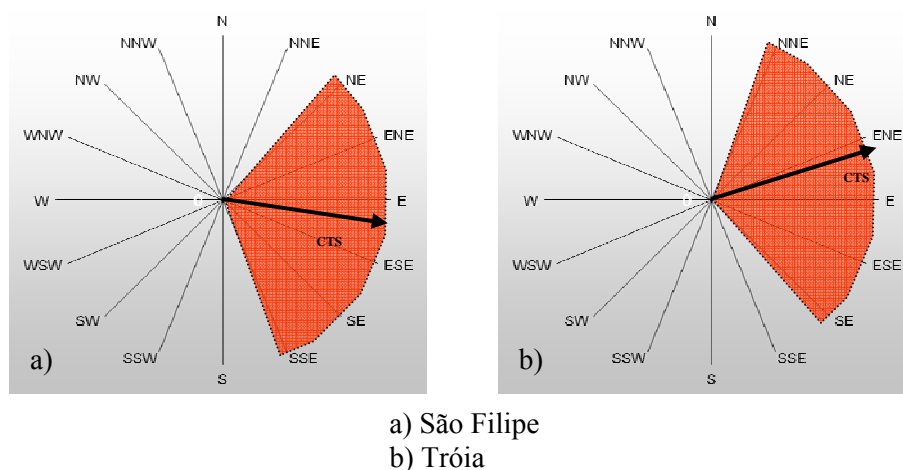
registadas pelas duas EMQA da Fábrica SECIL – Outão que lhe estão mais próximas (Tróia e São Filipe).

Recorreu-se à seguinte informação base para a execução desse conjunto de ANOVA's:

- **Concentrações de SO<sub>2</sub>** registadas na RMQA da Fábrica da SECIL – Outão;
- **Direcção dos ventos** registadas na RMQA da Fábrica da SECIL – Outão;
- **Nível de funcionamento** da CTS da EDP (em percentagem da capacidade máxima).

Também neste caso recorreu-se à direcção dos ventos para limitar a execução da ANOVA aos registos efectuados pelas estações quando os ventos assumiam a direcção da CTS.

Na Figura 4-5, indicam-se os intervalos da rosa-dos-ventos que foram considerados para as EMQA S. Filipe e Tróia.



**Figura 4-5** – Intervalos da rosa-dos-ventos que foram considerados para as EMQA S. Filipe e Tróia, para seleccionar os registos a submeter à ANOVA.

O nível de funcionamento da CTS (em percentagem da capacidade máxima) foi, neste caso, utilizado para definir o nível da quantidade de poluentes emitido por esta central (Quadro 4-2). Também neste caso foi assumido que a quantidade de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> emitida é proporcional ao caudal dos efluentes gasosos emitido (Ferreira, 1998).

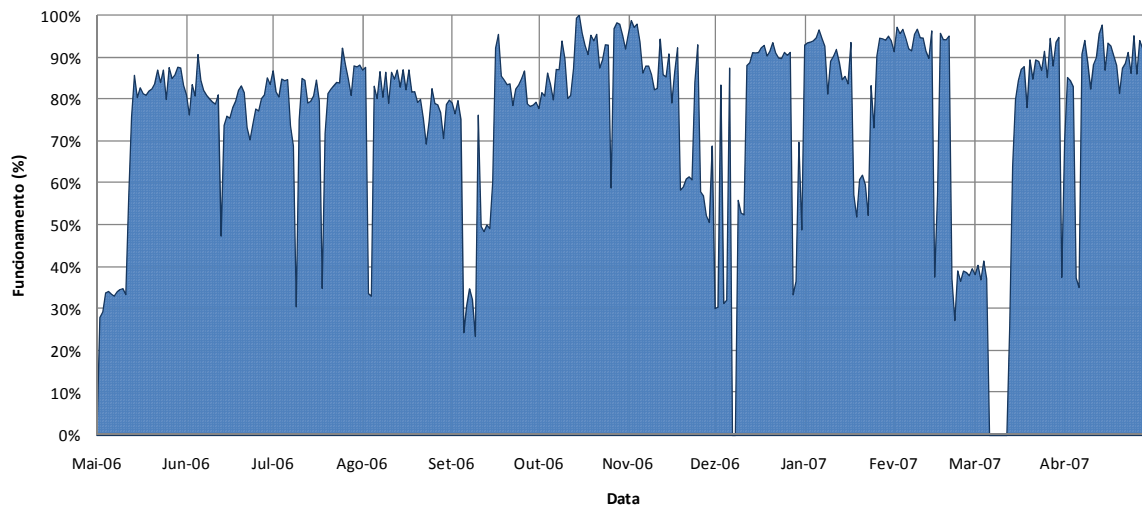
**Quadro 4-2** – Intervalos de funcionamento estabelecidos para os níveis/grupos considerados na ANOVA a um factor.

Nível/Grupo	Nível de Funcionamento (MW)	Nível de Funcionamento (%)
1	0	0
2	[0, 500[	[0, 50[
3	[ 500, 1000]	[50,100]

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

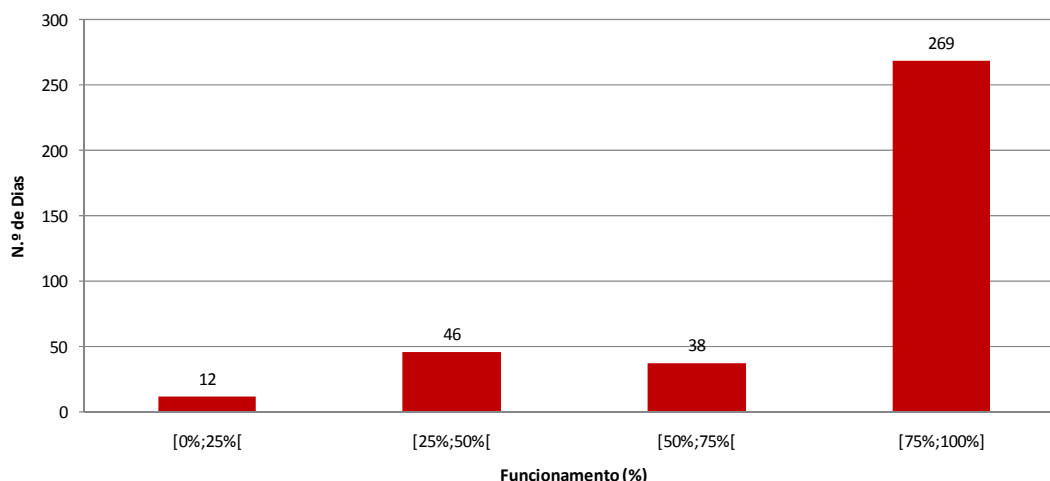
Em consonância com a abordagem metodológica explicitada no capítulo anterior, os resultados obtidos foram estruturados em duas partes: Análise Preliminar e Análise Detalhada.

Ainda antes de proceder à apresentação e discussão dos resultados obtidos em cada uma daquelas análises, considera-se fundamental apresentar o diagrama de carga da fábrica SECIL-Outão (Figura 5-1). O nível de carga foi obtido através da soma dos caudais médios diários de efluentes gasosos emitidos para a atmosférica pelas duas linhas de produção existentes.



**Figura 5-1** – Diagrama de carga da fábrica SECIL-Outão no período considerado.

Conforme se pode observar pelo gráfico representado na figura anterior, foram praticamente inexistentes os dias de paragem de funcionamento da fábrica SECIL-Outão no período em análise. O regime de funcionamento da fábrica foi assim, praticamente, constante, tendo apenas ocorrido dois dias de paragem em Dezembro de 2006 e sete dias de paragem em Março de 2007. Por sua vez, foram também poucos os dias em que se verificou um funcionamento de 100%. Estes ocorreram unicamente em Outubro de 2006. Na Figura 5-2 indica-se o número de dias do período em análise em que se registou um funcionamento da fábrica compreendido entre 0 e 24%, entre 25% e 49%, entre 50% e 74% e entre 75% e 100%.



**Figura 5-2** – Número de dias em que se registou um funcionamento compreendido entre 0 e 24%, entre 25% e 49%, entre 50% e 74% e entre 75% e 100%.

De acordo com o gráfico apresentado na figura anterior, verifica-se que na maior parte do período analisado, o funcionamento da fábrica SECIL-Outão variou entre os 75% e os 100%. Os níveis de funcionamento correspondente aos dois intervalos intermédios ocorreram num número significativamente menor de dias. Finalmente, o número de dias em que ocorreu um funcionamento inferior a 25% foi de apenas 12 dias, 7 dos quais corresponderam a dias de paragem.

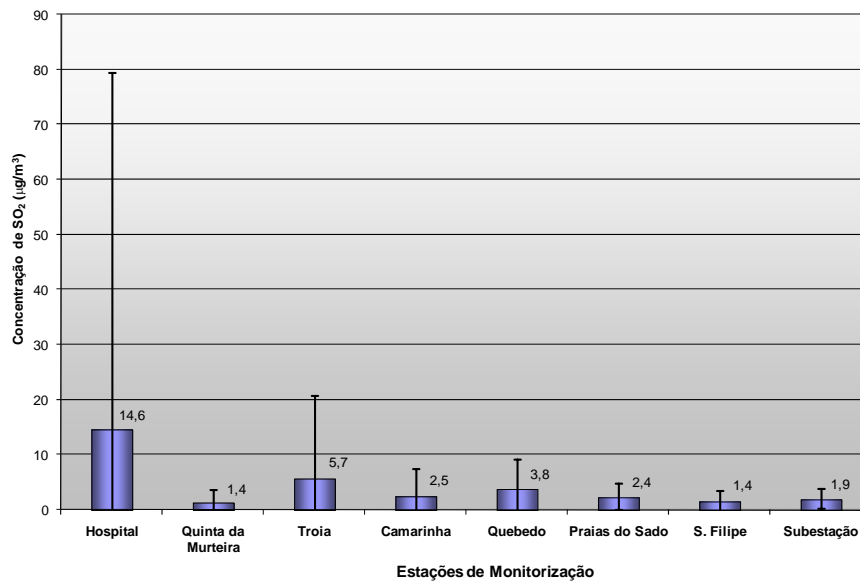
## 5.1. ANÁLISE PRELIMINAR

### 5.1.1. Análise dos valores médios e dos desvios-padrão

De modo a se perceber a variação dos valores de concentração de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$  na área em estudo, apresentam-se nas Figura 5-3, Figura 5-4 e Figura 5-5 gráficos das médias e dos desvio-padrão dos valores daqueles poluentes, registados no período em estudo e em cada uma das EMQA consideradas. As médias e os desvio-padrão foram calculados com base nas concentrações médias horárias registadas em cada EMQA. No Apêndice III consta um quadro com os valores que serviram de base à elaboração dos gráficos que se apresentam nas figuras seguintes.

Como já foi referido, as EMQA Hospital Ortopédico do Outão, Quinta da Murteira, Tróia e São Filipe pertencem à RMQA da fábrica da SECIL-Outão. Esta última estação pertence também à RMQA da CTS, fazendo também parte dessa rede as estações Praias do Sado, Subestação e S.<sup>to</sup> Ovidio. As estações Arco, Camarinha e Quebedo pertencem à RMQA da CCDR-LVT.

Na Figura 5-3 apresenta-se um gráfico das médias e dos desvio-padrão dos valores de  $\text{SO}_2$  registados nas EMQA consideradas. No gráfico não é feita referência às estações Arcos e S.<sup>to</sup> Ovidio, dado que este poluente não é monitorizado por essas estações.



**Figura 5-3** – Média e desvio-padrão dos valores de concentração de SO<sub>2</sub> registados nas EMQA consideradas.

Em relação aos valores de SO<sub>2</sub> registados pelas EMQA, verifica-se o seguinte:

- A concentração média mais elevada pertence à estação Hospital, seguindo-se, com um valor três vezes inferior, a estação de Tróia.

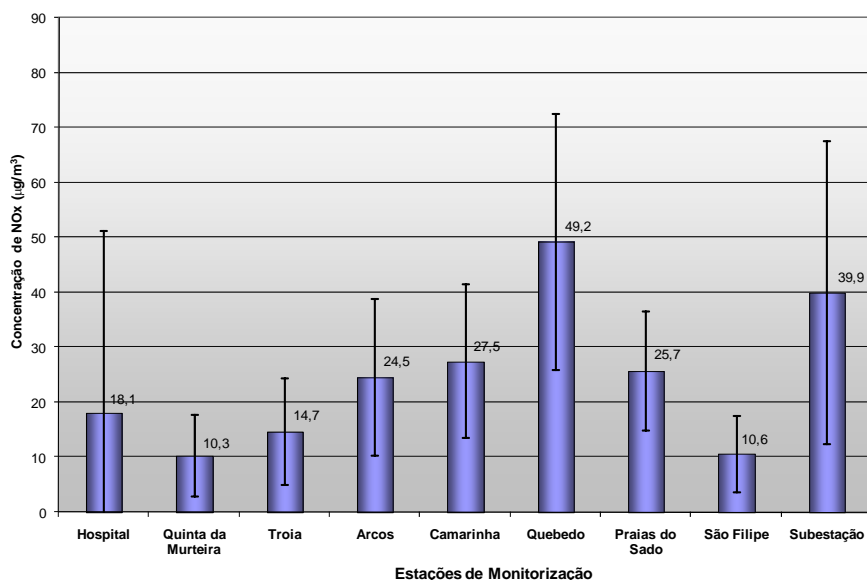
O primeiro caso pode estar relacionado com o facto desta estação se encontrar instalada junto de três fontes de emissão de SO<sub>2</sub>: por um lado, o Hospital Ortopédico do Outão, onde são incinerados diversos resíduos hospitalares; por outro lado, uma via rodoviária onde, diariamente, circulam diversos veículos pesados que transportam cimento e clínquer, fabricados pela cimenteira SECIL-Outão, para um cais de embarque, para expedição marítima; e por último, a própria fábrica SECIL-Outão, que é uma importante fonte de emissão de SO<sub>2</sub> e que se encontra apenas a uma distância de 1 km desta EMQA;

O segundo caso contraria um pouco as expectativas uma vez que esta EMQA está instalada numa zona plana, entre o Estuário do Sado e o oceano, e relativamente afastada de fontes de poluição estacionárias. Por outro lado, a sua posição relativa a essas fontes dificulta a tarefa de estabelecer uma relação com as fontes de SO<sub>2</sub> responsáveis. Nesse sentido, o valor médio pode dever-se às emissões provenientes da fábrica SECIL-Outão, do tráfego rodoviário que circula na cidade de Setúbal e da zona industrial de Setúbal, em particular da CTS;

- Nas restantes estações os valores médios registados são, relativamente, reduzidos e semelhantes entre si. Os menores valores foram registados pelas estações da Quinta da Murteira e de São Filipe;
- Os valores de desvio-padrão mais elevados pertencem igualmente às estações Hospital e Tróia. O primeiro caso está relacionado com um pico de concentrações que foi registado entre Junho e Julho de 2006. Tendo em conta que a estação de Tróia é uma estação de fundo, o desvio-padrão registado pode dever-se à instabilidade atmosférica que se regista no local,

nomeadamente na ocorrência de variações significativas na direcção e na velocidade dos ventos.

Na Figura 5-4 apresenta-se um gráfico das médias e dos desvio-padrão dos valores de  $\text{NO}_x$  registados nas EMQA consideradas. No gráfico não é feita referência à estação S.<sup>to</sup> Ovidio, pois este poluente não é monitorizado nesta estação.



**Figura 5-4** – Média e desvio-padrão dos valores de concentração de  $\text{NO}_x$  registados nas EMQA consideradas.

De acordo com o gráfico apresentado na figura anterior, verifica-se o seguinte:

- As concentrações médias mais elevadas ocorrem nas estações Quebedo e Subestação;

De acordo com a CCDR-LVT a estação Quebedo é uma estação de tráfego, pois encontra-se implantada num local onde o nível de poluição é, principalmente, influenciado pelas emissões do tráfego rodoviário. De facto, esta estação está instalada no interior da cidade de Setúbal, junto a vias rodoviárias, o que pode justificar o maior valor médio de  $\text{NO}_x$  registado;

A Subestação não constitui uma estação de tráfego, pois está associada à RMQA da CTS. Embora tenha sido criada para monitorizar o efeito causado por essa unidade industrial na qualidade do ar, esta estação está instalada junto a uma via rodoviária importante, que liga Setúbal ao Sul de Portugal. O valor médio que é observado nesta estação pode assim dever-se à influência das emissões de  $\text{NO}_x$  resultantes do tráfego rodoviário;

- Com valores semelhantes e inferiores aos registados nas duas estações anteriores, seguem-se as estações Praias do Sado, Camarinha e Arcos;

Embora não constituam estações de tráfego, o facto de estarem localizadas na proximidade (no caso da estação de Praias do Sado) e no interior de aglomerados populacionais, as concentrações médias de  $\text{NO}_x$  registadas podem também dever-se à influência do tráfego;

- Nas restantes EMQA foram registadas concentrações médias de  $\text{NO}_x$  mais reduzidas, em particular nas estações S. Filipe e Quinta da Murteira;

Apesar da primeira estação se tratar de uma estação de fundo, o valor médio registado é contrário ao esperado. Esta estação está localizada nas proximidades da cidade de Setúbal, pelo que seria de esperar valores mais elevados de  $\text{NO}_x$ . No entanto, a explicação do valor registado pode estar no seguinte: por um lado, pelo facto da estação se encontrar instalada a uma cota relativamente elevada, onde se fazem sentir pouco os efeitos das emissões geradas pelas fontes de poluição mais próximas; por outro lado, pelo facto de se registar uma frequência dos ventos reduzida na direcção da cidade de Setúbal;

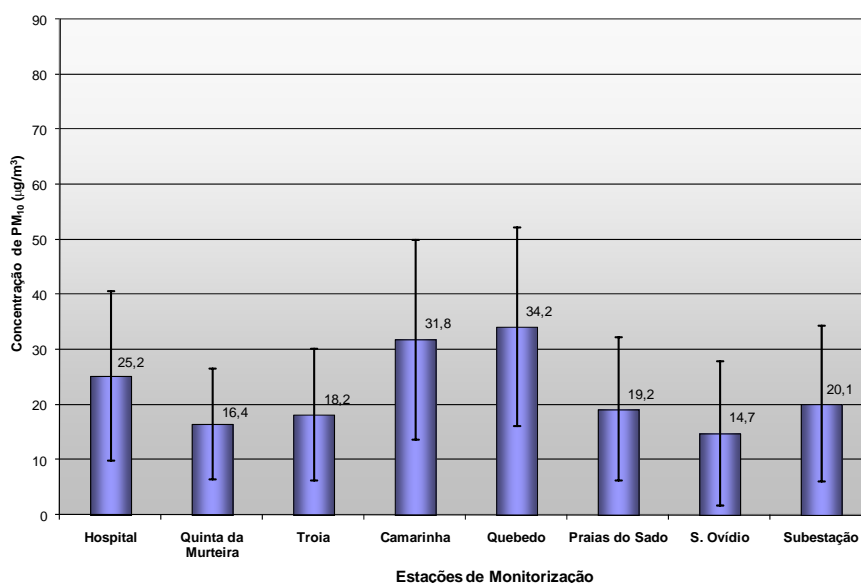
A segunda estação constitui igualmente uma estação de fundo e encontra-se instalada num local que não sofre influências directas de quaisquer tipos de fontes de poluição atmosférica;

- Finalmente, no que concerne aos desvio-padrão registados, os valores mais elevados correspondem aos registos efectuados pelas estações Hospital, Subestação e Quebedo.

Na primeira estação, o valor identificado pode estar relacionado com as variações no tráfego rodoviário que circula na via que se encontra junto da estação, e com eventuais variações no regime dos ventos. Como já foi indicado, esta estação está localizada num local com condições topográficas particulares, que exercem uma influência importante no regime dos ventos.

As estações Subestação e Quebedo são estações que estão sujeitas à influência directa da poluição causada pelo tráfego rodoviário. Os valores elevados de desvio-padrão observados podem, assim, estar relacionados com as variações diárias e semanais que, geralmente, ocorrem na intensidade daquele tipo de tráfego.

Na Figura 5-5 apresenta-se um gráfico das médias e dos desvio-padrão dos valores de  $\text{PM}_{10}$  registados nas EMQA consideradas. No gráfico não é feita referência às estações Arcos e S. Filipe, pois este poluente não é monitorizado nessas estações.



**Figura 5-5** – Média e desvio-padrão dos valores de concentração de PM<sub>10</sub> registados nas EMQA consideradas.

De acordo com o gráfico apresentado na figura anterior, verifica-se o seguinte:

- As concentrações médias mais elevadas de PM<sub>10</sub> ocorrem nas estações Quebedo e Camarinha. Embora inferior, merece também referência o valor registado pela estação Hospital;

Os valores registados nas duas primeiras estações podem estar relacionados com as partículas emitidas pelo tráfego rodoviário que circula na cidade de Setúbal, em particular o valor registado pela estação Quebedo pois, como já referido, constitui uma estação de tráfego;

O valor registado pela estação Hospital Ortopédico do Outão pode dever-se às três fontes de poluição já indicadas, em particular à fábrica SECIL-Outão, na medida em que se trata de uma importante fonte de emissão de partículas para a atmosfera. Embora não seja evidente, não deve ser colocado de parte uma eventual influência dos aerossóis marítimos nas concentrações de partículas. Refira-se que esta estação está localizada a apenas algumas dezenas de metros da linha de costa;

- As restantes estações apresentam concentrações médias semelhantes. O menor valor médio foi registado na estação S.<sup>to</sup> Ovídio;
- Os desvio-padrão mais elevados ocorrem nos valores registados pelas estações Quebedo e Camarinha. Tal poderá estar relacionado com a variação dos padrões de tráfego que se verificam na cidade de Setúbal ao longo dos dias, combinada com a ocorrência de variações nas condições meteorológicas.

Face ao exposto para cada um dos poluentes considerados, pode-se concluir o seguinte:

- As concentrações médias mais elevadas de SO<sub>2</sub> são observadas na estação Hospital Ortopédico do Outão. O desvio-padrão mais elevado pertence também a esta estação, facto esse que se deve ao pico de concentrações registadas entre Junho e Julho de 2006, e para o



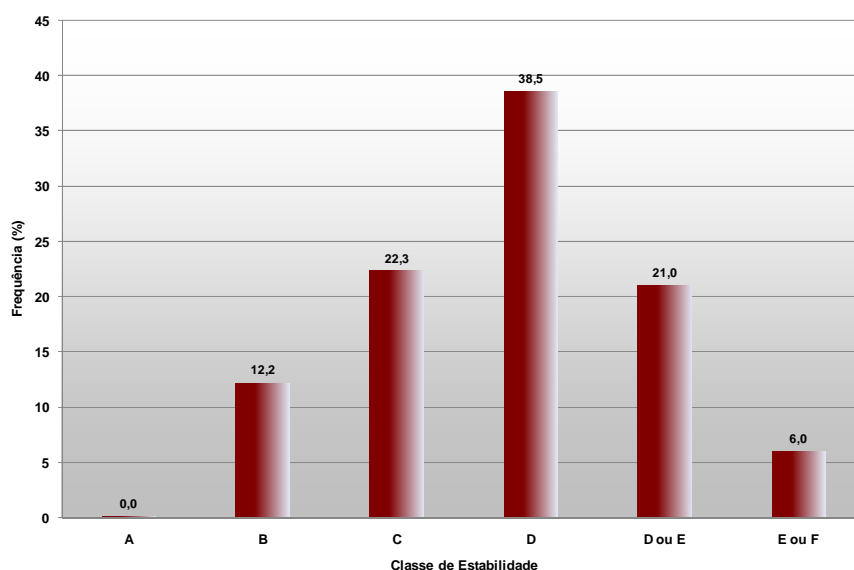
qual não foi identificada uma evidência clara da sua origem. Apesar da informação recolhida não evidenciar a origem, é provável que este pico esteja relacionado com as emissões atmosféricas geradas pelo Hospital Ortopédico do Outão. Este hospital além de se encontrar muito próximo da EMQA, possui caldeiras que queimam combustíveis fósseis;

- As concentrações médias mais elevadas de  $\text{NO}_x$  foram registadas nas estações Quebedo e Subestação, que pertencem, respectivamente, às RMQA da CCDR-LVT e da CTS. Estes valores elevados estão, provavelmente, relacionados com a influência das emissões geradas pelo tráfego rodoviário. Estas estações apresentam também os valores de desvio-padrão mais elevados, o que deve estar relacionado com as variações dos padrões de tráfego e das condições meteorológicas. Na RMQA da fábrica SECIL-Outão, a estação que registou o valor médio mais elevado foi a estação Hospital Ortopédico do Outão;
- As concentrações médias mais elevadas de  $\text{PM}_{10}$  ocorrem nas estações Quebedo e Camarinha. Os valores registados nestas estações podem estar relacionados com as partículas emitidas pelo tráfego rodoviário que circula na cidade de Setúbal. Embora inferior, merece também referência o valor registado pela estação Hospital, que pode estar relacionado com as emissões provenientes das três fontes de poluição que se encontram junto da estação, em particular a fábrica SECIL-Outão.

#### **5.1.2. Análise dos valores médios para três classes de estabilidade atmosférica**

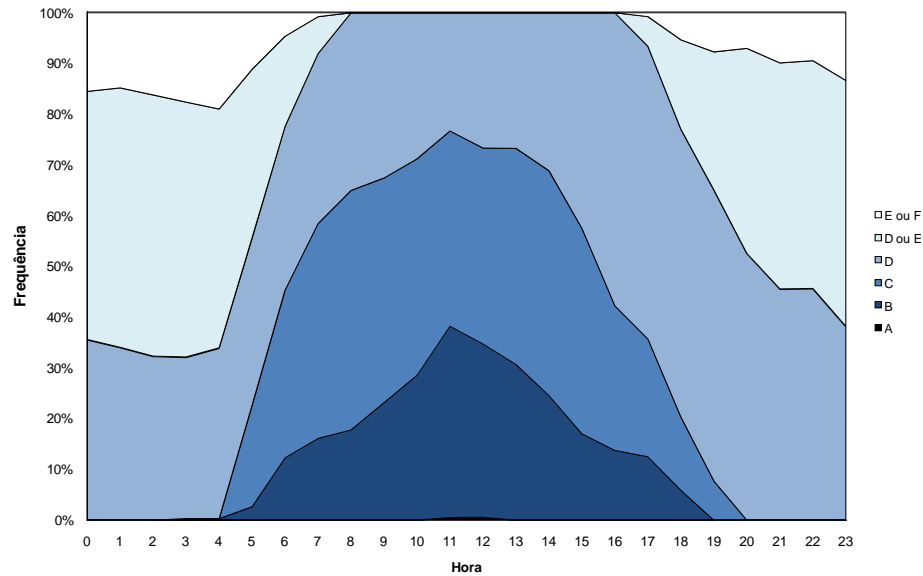
A análise que se apresenta de seguida destina-se a avaliar o efeito de dispersão dos poluentes na atmosfera no período em análise, com base nas classes de estabilidade da atmosfera. Conforme já foi referido, estas classes foram determinadas a partir dos valores de radiação solar ( $\text{W/m}^2$ ) e de velocidade do vento (m/s) registados na estação meteorológica pertencente à RMQA da CTS da EDP.

Ainda antes de avaliar o efeito de dispersão dos poluentes, apresentam-se dois gráficos: no primeiro (Figura 5-6) é apresentada a frequência de ocorrência de cada classe de estabilidade no período em análise; no segundo (Figura 5-7) é apresentado o perfil horário (24h) das frequências de cada classe, para o período em análise.



**Figura 5-6** – Frequência das classes de estabilidade da atmosfera no período considerado.

A frequência das classes de estabilidade é extremamente importante para avaliar as condições de dispersão dos poluentes na atmosfera. Conforme se pode observar no gráfico da Figura 5-6, a classe de estabilidade D – Neutra é claramente dominante (cerca de 40%). Tal significa que dominam os efeitos mecânicos na deslocação das massas de ar na região em estudo. Seguem-se, com valores semelhantes, as classes C (Atmosfera ligeiramente instável) e D ou E (atmosfera neutra ou ligeiramente estável). Os maiores níveis de instabilidade registados na região e no período em estudo, correspondem à Classe B (Atmosfera medianamente instável), contudo apenas foram atingidos em 12,2% do intervalo de tempo considerado. A Classe A apenas foi registada durante algumas horas, não tendo praticamente expressão na região em estudo. No extremo oposto das classes de estabilidade, surgem as classes E (atmosfera ligeiramente estável) e F (atmosfera bastante estável). Estas classes ocorrem apenas durante o período nocturno e diferem entre si pela nebulosidade que ocorre no local. Dado que não foi possível obter informação sobre a nebulosidade nocturna, considerou-se que estas duas classes ocorrem sempre que a velocidade do vento é inferior a 3m/s. Na região em estudo, estas duas classes ocorreram em 8% do intervalo de tempo considerado.

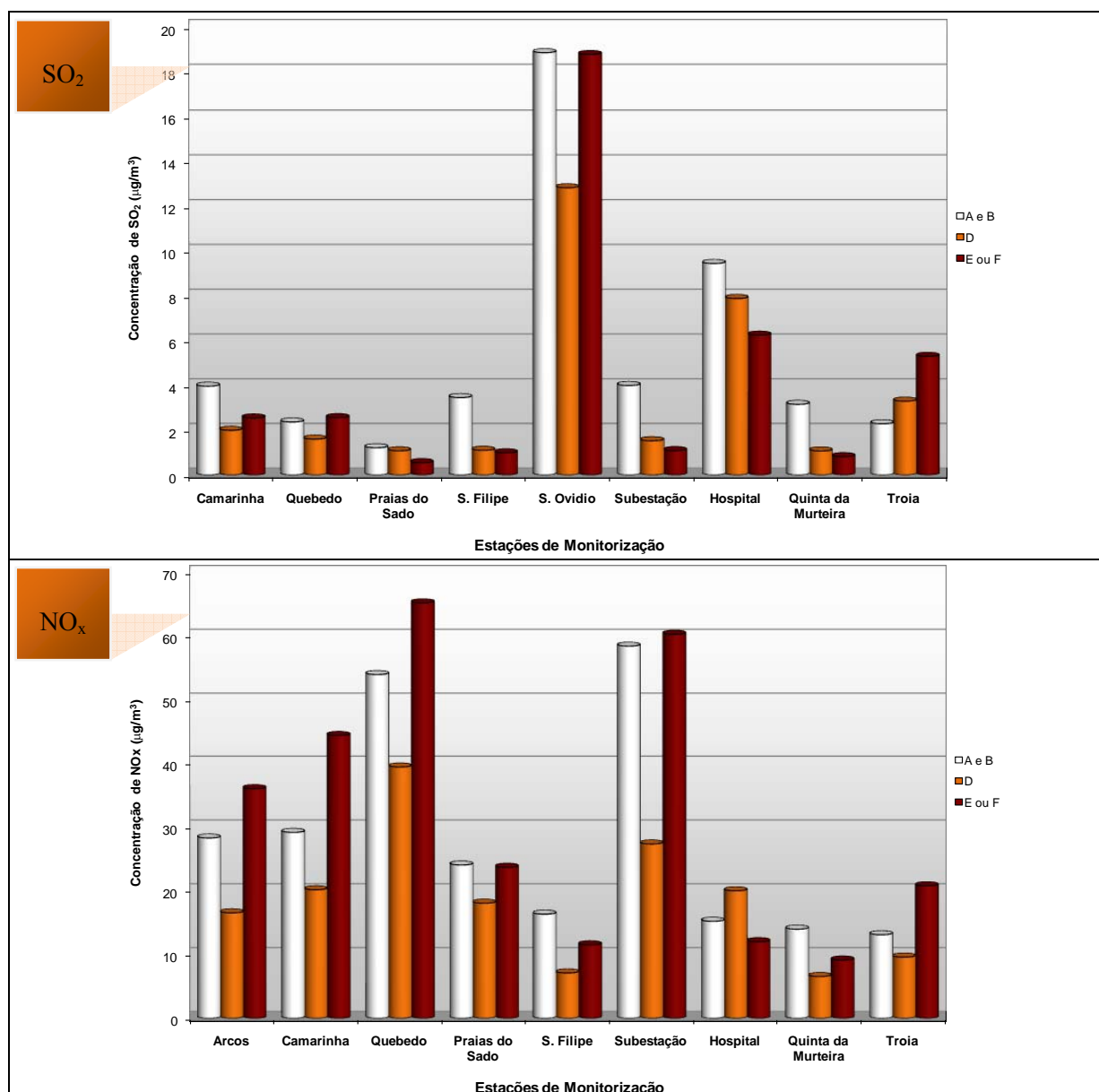


**Figura 5-7** – Perfil horário (24h) da frequência média das classes de estabilidade da atmosfera ao longo dos dias do período considerado.

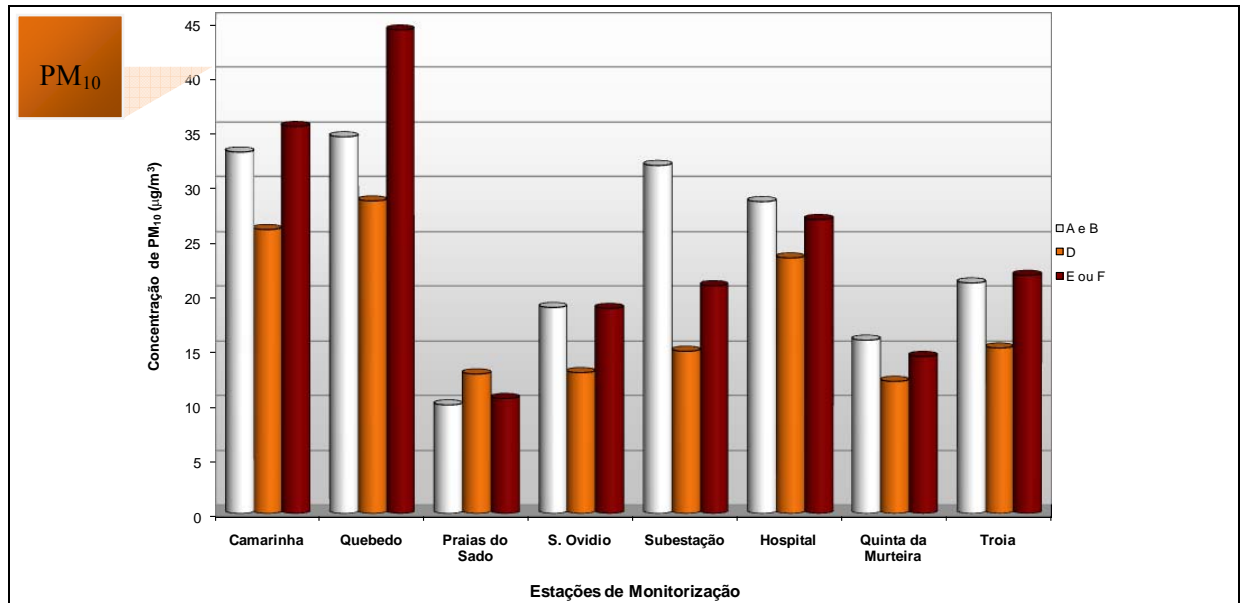
De acordo com o gráfico apresentado na figura anterior verifica-se o seguinte:

- Analisando a distribuição das frequências das diferentes classes de estabilidade ao longo do dia, é possível observar dois períodos distintos. Estes períodos correspondem, basicamente, ao período diurno e ao período noturno. Tal significa que a radiação solar exerce uma forte influência nas condições de estabilidade da atmosfera. O período diurno varia entre cerca das 5 e das 19 horas. O período noturno corresponde às restantes horas. Entre estes dois períodos observam-se também períodos curtos de transição, onde se verificam praticamente todas as classes de estabilidade. Estes verificam-se entre as 4 e 6 horas e entre as 18 e as 20 horas;
- No período noturno ocorrem principalmente as classes de estabilidade D, D ou E e E ou F, pelo que a atmosfera varia entre Neutra e Bastante Estável. Pelo contrário, no período diurno ocorrem com mais frequência níveis de instabilidade na atmosfera, que atingem o seu expoente máximo entre as 11 e as 12 horas. Neste período as classes de estabilidade mais frequentes são a Classe B, C e D. Embora se tenham registado também algumas horas de Classe A, esta é praticamente inexistente no período em análise (conforme se pode constatar pelos valores apresentados no gráfico).

Na Figura 5-8 apresentam-se três gráficos das concentrações médias dos poluentes em estudo, associadas a classes de estabilidade extremas (A e B e E ou F) e a uma classe de estabilidade neutra (D). Em cada gráfico apresentam-se apenas os valores médios registados nas estações onde ocorreu a monitorização do poluente em causa.



**Figura 5-8** – Concentrações Médias de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> registados nas EMQA, durante a ocorrência das classes de estabilidade A, D e E ou F.



**Figura 5-8 (cont.)** – Concentrações Médias de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> registados nas EMQA, durante a ocorrência das classes de estabilidade A, D e E ou F.

Da análise dos gráficos apresentados na figura anterior constata-se o seguinte:

- Na maioria das EMQA consideradas, as concentrações médias de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> são mais elevadas nas classes de estabilidade extremas, isto é, nas classes A e B e nas classes E ou F. Esta situação verifica-se, especialmente, ao nível dos poluentes NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub>. Em cerca de metade destas ocorrências, os dois valores de concentrações médias são semelhantes.

De facto, as classes de estabilidade extremas podem criar condições propícias para o aumento das concentrações de poluentes junto dos receptores. Apesar das condições de instabilidade e de turbulência da atmosfera serem importantes para a dispersão dos poluentes, o efeito de dispersão só ocorre após serem percorridas distâncias relativamente elevadas da fonte emissora. Quando o receptor se encontra muito próximo da fonte emissora, podem ocorrer situações em que os fenómenos turbulentos apenas tendem a agravar os níveis de poluição. Pelo contrário, as condições extremas de estabilidade da atmosfera, constitui, por si só, um obstáculo à dispersão dos poluentes e, consequentemente, no aumento das respectivas concentrações junto dos receptores. Contudo, quando os receptores se encontram junto das fontes de poluição e as velocidades do vento são mais elevadas, as condições de estabilidade podem igualmente conduzir a à ocorrência de concentrações baixas junto de determinados receptores.

- Em relação ao SO<sub>2</sub> observa-se o seguinte: as concentrações médias mais elevadas nas classes de estabilidade consideradas, ocorrem nas estações de S.<sup>to</sup> Ovídio e Hospital; em cinco das estações indicadas, os valores médios mais elevados correspondem às classes A e B e em apenas um corresponde às classes E ou F;
- Ao nível do NO<sub>x</sub> observa-se que na maioria das estações, os valores médios mais elevados correspondem às classes E ou F. Nas estações S. Filipe e Quinta da Murteira verifica-se o

contrário e a estação Hospital é a única onde o valor médio mais elevado corresponde à classe D. As concentrações médias mais elevadas são observadas nas estações Quebedo e Subestação;

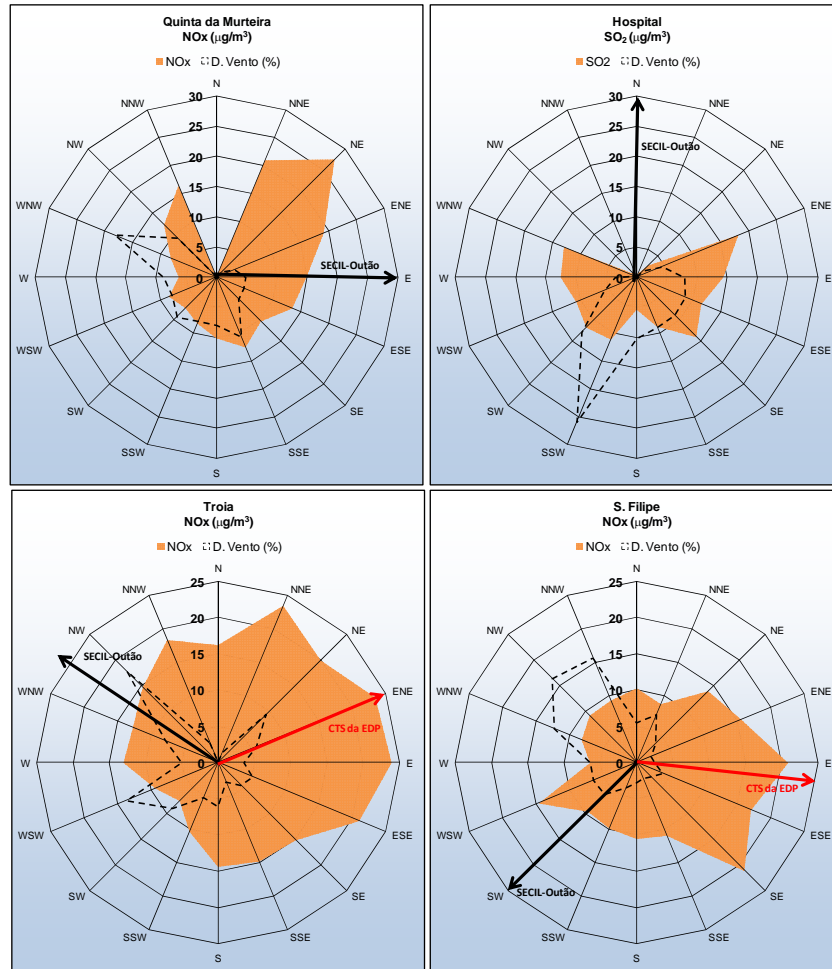
- Finalmente, ao nível das  $PM_{10}$  observa-se o seguinte: as concentrações mais elevadas ocorrem nas estações Quebedo e Camarinha; em quatro estações os valores observados nas classes extremas são semelhantes e mais elevados que os correspondentes à classe neutra; nas estações Quebedo e Camarinha, as concentrações mais elevadas correspondem às classes E ou F, enquanto que nas estações Subestação e Hospital, correspondem às classes A e B; apenas na estação Praias do Sado se verifica que valor médio mais alto ocorre na classe D.

### **5.1.3. Análise de Rosas de Poluição**

Procede-se, de seguida, ao processamento direccionado das concentrações de  $SO_2$ ,  $NO_x$  e  $PM_{10}$ , que foram registadas em cada EMQA. Este processamento visa identificar as origens potenciais das principais fontes emissoras. Face ao volume de informação que esta análise comporta, serão apresentadas e discutidos apenas os resultados obtidos para as estações da RMQA em estudo, e para os poluentes que melhor evidenciam uma possível origem das respectivas emissões. Nesse sentido, do conjunto de rosas de poluição elaboradas foram seleccionadas quatro, uma para cada uma das estações que pertencem à RMQA em estudo. Três destas rosas de poluição referem-se ao poluente  $NO_x$  (estação Quinta da Murteira, Tróia e S. Filipe) e uma refere-se ao poluente  $SO_2$  (Hospital). É nestas rosas de poluição que se verifica uma maior heterogeneidade e onde se identifica uma tendência mais evidente na distribuição das concentrações pelas diversas direcções. Analisam-se, de seguida, as rosas de poluição elaboradas. Sempre que necessário, cruzar-se-á essa análise com a informação que se encontra representada nas restantes rosas de poluição elaboradas para a mesma estação.

No final é apresentada uma síntese que considera também os resultados obtidos para as restantes estações. No Apêndice VI encontram-se apresentadas todas as rosas de poluição elaboradas. Por sua vez, no sentido de se obter uma visão de conjunto da região, apresenta-se no mesmo Apêndice um mapa com as várias rosas de poluição, que se estão localizadas sobre as estações correspondentes.

Na Figura 5-9 apresentam-se os gráficos das Rosas de Poluição elaboradas a partir das concentrações médias dos poluentes considerados, registadas nas estações da RMQA da fábrica SECIL-Outão.



**Figura 5-9** – Rosas de Poluição elaboradas a partir das concentrações médias dos poluentes considerados, registadas nas estações da RMQA da fábrica SECIL-Outão.

De acordo com os gráficos apresentados na figura anterior, constata-se o seguinte:

- Na estação Quinta da Murteira:

Conforme já foi referido, esta é uma estação de fundo que não se encontra sujeita à influência directa de fontes pontuais próximas;

Verifica-se que concentrações mais elevadas não são coincidentes com as direcções do vento mais frequente (WNW). Os valores médios mais elevados correspondem às direcções NE e NNW. Não obstante, o valor médio registado na direcção da fábrica SECIL-Outão (E) não é desprezável;

Os valores médios mais elevados podem estar relacionados com a poluição gerada pela cidade de Lisboa e/ou pela zona industrial do Barreiro, localizadas, respectivamente, a NNW e a N da estação. Contudo, esta estação encontra-se instalada no mesmo vale onde se encontra a fábrica SECIL-Outão, pelo que as concentrações de NO<sub>x</sub>, apesar de não corresponderem à direcção da fábrica, podem, por influência da topografia, resultar daquela fonte pontual.

No que diz respeito aos restantes poluentes, observa-se uma distribuição relativamente homogénea das respectivas concentrações por todas as direcções, com excepção da direcção norte, onde não ocorreu qualquer registo;

- Na estação Hospital Ortopédico do Outão:

As maiores concentrações médias de SO<sub>2</sub> também não são coincidentes com as direcções do vento mais frequentes (SSW);

As concentrações mais elevadas são oriundas das direcções ENE/E, SD e WNW. Na direcção da fábrica SECIL-Outão não houve registo de valores de SO<sub>2</sub> pois não foram registados ventos oriundos de norte. Este aspecto pode dever-se a condicionamentos da topografia, o que introduz uma limitação a esta análise;

Os valores médios mais elevados podem estar relacionados com a poluição gerada pela zona industrial de Setúbal, pois esta encontra-se precisamente na direcção ENE, e constitui a maior fonte de SO<sub>2</sub> da região, pela presença da CTS;

Ao nível do NO<sub>x</sub> ocorrem outros dois picos de valores, associados às direcções WNW e ESE. O primeiro pode dever-se ao tráfego rodoviário e o segundo ao funcionamento do Hospital Ortopédico e ao tráfego marítimo que existe nas proximidades (porto marítimo da SECIL-Outão);

Em relação às PM<sub>10</sub>, verifica-se uma distribuição relativamente homogénea das concentrações por todas as direcções, com excepção da direcção norte, onde não ocorreu qualquer registo;

- Na estação Tróia, verifica-se o seguinte:

Os valores mais elevados de NO<sub>x</sub> são coincidentes apenas com uma das três direcções onde se registaram ventos mais frequentes, isto é, ventos de NE. A maior frequência de ventos provém da direcção NW. Esta direcção é quase coincidente com a direcção da fábrica SECIL-Outão, contudo a concentração média registada é das mais baixas;

As concentrações mais elevadas provém do primeiro quadrante (N-E). Nestas direcções encontra-se a cidade de Setúbal e a zona industrial de Setúbal. Conforme se pode observar na rosa de poluição, os dois valores de NO<sub>x</sub> mais elevados coincidem, precisamente, com as direcções da cidade de Setúbal (ver Figura 5 do Apêndice IV) e da CTS. Estes valores podem, assim, estar relacionados com as emissões de NO<sub>x</sub> geradas pelo tráfego que circula em Setúbal e com a CTS, que são duas fontes importantes desse poluente.

Finalmente, os valores de SO<sub>2</sub> registados foram muito reduzidos, contudo o valor médio mais elevado está associado à direcção oeste. Em relação às PM<sub>10</sub>, à semelhança do referido nas outras estações, verifica-se também uma distribuição homogénea das concentrações por todas as direcções, à excepção da direcção Norte, onde se observa um valor, relativamente, mais elevado.



- Na estação S. Filipe, verifica-se o seguinte:

Os valores mais elevados de  $\text{NO}_x$  ocorrem nas direcções contrárias aos ventos mais frequentes, isto é, entre as direcções este e sudeste. A zona industrial de Setúbal encontra-se, precisamente, situada nestas direcções. Conforme consta na rosa de poluição, a direcção da CTS é praticamente coincidente com a direcção onde foi registado um dos maiores valores médios de  $\text{NO}_x$ .

Tendo em consideração que o tráfego automóvel é uma das principais fontes de poluição de  $\text{NO}_x$ , a cidade de Setúbal (situada na direcção NE) deverá também exercer uma importante influência nas concentrações de  $\text{NO}_x$  registadas por esta estação.

Embora não seja tão elevado, observa-se também um pico na direcção oeste sudoeste, que é quase coincidente com a direcção da fábrica SECIL-Outão. Este valor médio poderá, assim, estar relacionado com as emissões daquela unidade industrial.

Conforme já foi referido, esta estação não faz a monitorização de  $\text{PM}_{10}$ . Em relação às concentrações médias de  $\text{SO}_2$  observa-se um pico de concentrações na direcção sudeste. Apesar deste não coincidir com a direcção da CTS, é provável que o mesmo esteja relacionado com essa fonte de poluição. As flutuações da circulação das massas de ar no estuário do Sado podem estar na origem dessa diferença.

Em síntese pode-se concluir o seguinte:

- De um modo geral, as concentrações mais elevadas dos vários poluentes não são coincidentes com as direcções dos ventos mais frequentes;
- Os valores médios mais elevados de  $\text{NO}_x$  registados na estação Quinta da Murteira, podem estar relacionados com a poluição gerada pela cidade de Lisboa e/ou pela zona industrial do Barreiro;
- É provável que os valores médios mais elevados de  $\text{NO}_x$ , registados nas restantes estações, estejam relacionados com a poluição gerada pela zona industrial de Setúbal. Na maioria das situações esta zona encontra-se, precisamente, na direcção das concentrações médias mais elevadas;
- Ao nível das rosas de poluição elaboradas para as  $\text{PM}_{10}$ , verifica-se uma distribuição relativamente homogénea das concentrações por todas as direcções, facto que poderá estar relacionado com o efeito dos aerossóis marítimos ou com concentrações de fundo semelhantes.

## 5.2. ANÁLISE DETALHADA

Conforme foi referido no capítulo da metodologia, nesta análise recorre-se à análise de correlações e à ANOVA para avaliar a existência de uma relação, causal e directa, entre os poluentes atmosféricos emitidos pela Fábrica SECIL – Outão, e os valores de qualidade do ar registados na RMQA que lhe está associada.

Procede-se, de seguida, à discussão dos resultados obtidos com a aplicação da análise de correlações.

### 5.2.1. Análise de Correlações

Esta análise foi realizada no sentido de avaliar a existência de:

1. Correlação **entre as EMQA das RMQA consideradas**;
2. Correlação **entre as EMQA da RMQA em estudo e as emissões da SECIL – Outão**;
3. Correlação **entre as EMQA da RMQA da Fábrica SECIL – Outão e as emissões da CTS**.

Em cada uma destas avaliações foram realizadas três correlações, uma para cada poluente em estudo ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ ).

Apresentam-se, de seguida, os resultados obtidos com as correlações realizadas **entre as EMQA das de todas as RMQA consideradas**, para os poluentes  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$  (ver Quadro 5-1). Esta abordagem teve com objectivo avaliar se existe mais do que uma estação de monitorização a fornecer a mesma informação. Além deste aspecto, esta correlação pode ser também muito útil em compreender o comportamento dos diferentes poluentes ao longo dos locais onde se encontram instaladas as EMQA.

No Apêndice V podem ser consultados os quadros que descrevem estatisticamente as correlações realizadas.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se o seguinte:

- No que diz respeito ao  $\text{SO}_2$ , as estações que apresentam o valor mais elevado de correlação (cerca de 0,5) são: S. Filipe, Quinta da Murteira, Subestação e Praias do Sado;

As duas primeiras estações são de fundo e, conforme já se constatou, apresentam valores médios e de desvios-padrão semelhantes (ver Figura 5-3), pelo que a existência de correlação temporal poderá estar relacionada com o facto das concentrações de fundo serem semelhantes;

A Subestação é uma estação que está sujeita à poluição causada pelo tráfego rodoviário, pelo que a influência dessa fonte de poluição será sentida, principalmente, a nível das concentrações de  $\text{NO}_x$ . Nesse sentido, as concentrações de  $\text{SO}_2$  registadas poderão corresponder também a concentrações de fundo, o que pode explicar a correlação verificada;

Finalmente, a correlação registada entre a estação Praias do Sado e S. Filipe é negativa, o que indica que existe uma relação linear negativa entre estas duas estações. Tal poderá explicar-se

pela influência da CTS nos níveis de SO<sub>2</sub> registados. Dependendo da tendência dos ventos as concentrações mais elevadas podem-se fazer sentir na estação S. Filipe ou na estação Praias do Sado, pois encontram-se em direcções quase opostas, relativamente à CTS;

- Em relação ao NO<sub>x</sub>, os valores de correlações são, de um modo geral, mais elevados do que os registados para o SO<sub>2</sub>. Os valores mais elevados variam entre 0,7 e 0,9 e foram observados entre as seguintes estações: Arcos, Camarinha, Quebedo, Tróia, S. Filipe e Praias do Sado. A estação Hospital não revela correlação com nenhuma das EMQA consideradas.

A elevada correlação verificada entre as estações da CCDD-LVT (em particular entre a estação Camarinha e Quebedo) poderá dever-se à sua proximidade e ao facto de se encontrarem instaladas no interior da malha urbana de Setúbal, onde a poluição de NO<sub>x</sub> é, principalmente, gerada pelo tráfego rodoviário.

Verifica-se também uma correlação elevada entre aquelas estações e a estação Tróia, o que sugere que esta estação regista a poluição gerada pela cidade de Setúbal.

Finalmente, verifica-se uma elevada correlação entre as estações da CCDD-LVT (em particular a estação Camarinha) e as estações S. Filipe e Praias do Sado. Pela proximidade à cidade de Setúbal, o primeiro caso pode dever-se à influência das emissões de NO<sub>x</sub> geradas pelo tráfego rodoviário que circula na cidade. Conforme foi observado na rosa de poluição, a CTS poderá também aqui desempenhar um papel importante na existência de correlação entre estas estações. No segundo caso, não foi possível encontrar uma explicação para a existência de correlação;

- Ao nível das PM<sub>10</sub>, obtiveram-se os valores de correlação mais elevados. Na maioria das estações o valor de correlação é superior a 0,8, tendo sido atingido o valor de 0,9 nas estações Tróia, Hospital, Quinta da Murteira, S. Filipe e Praias do Sado;

Tendo em conta que aquelas estações apresentam grandes diferenças entre si: em termos da orografia envolvente, da proximidade, distância e posição relativa às principais fontes de poluição de PM<sub>10</sub>; considera-se que as correlações registadas estarão relacionadas com as concentrações de fundo deste poluente na região. Embora possam ocorrer influências nas concentrações de PM<sub>10</sub> por parte das fontes de poluição existentes na área em estudo, o efeito da poluição de fundo poderá ser tal que se sobrepõe ao efeito local.

**Quadro 5-1** – Matriz de Correlação realizada entre as EMQA das RMQA consideradas, para o poluente NO<sub>x</sub>.

	SO <sub>2</sub>								
	Tróia	Q.ta da Murteira	Hospit.	Subest.	S. Filipe	P. do Sado	Arcos	Camar.	Queb.
Tróia	1,000								
Q.ta da Murteira	0,001	1,000							
Hospital	0,041	0,117	1,000						
Subestação	-0,007	**0,454	0,103	1,000					
S. Filipe	-0,034	**0,530	0,109	**0,586	1,000				

SO <sub>2</sub>									
	Tróia	Q.ta da Murteira	Hospit.	Subest.	S. Filipe	P. do Sado	Arcos	Camar.	Queb.
Praias do Sado	-0,235	-0,240	-0,096	0,095	-0,527	1,000			
Camarinha	0,034	*0,116	-0,006	**0,180	**0,214	0,042	—	1,000	
Quebedo	-0,005	0,025	-0,066	*0,117	**0,165	0,429	—	0,043	1,000
NO <sub>x</sub>									
	Tróia	Q.ta da Murteira	Hospit.	Subest.	S. Filipe	P. do Sado	Arcos	Camar.	Queb.
Tróia	1,000								
Q. ta da Murteira	**0,618	1,000							
Hospital	*0,115	*0,122	1,000						
Subestação	**0,432	*0,114	0,014	1,000					
S. Filipe	**0,637	**0,446	*0,132	**0,502	1,000				
Praias do Sado	**0,569	*0,620	-0,145	**0,574	0,295	1,000			
Arcos	**0,718	**0,473	0,079	**0,590	**0,695	**0,535	1,000		
Camarinha	**0,782	**0,523	*0,114	**0,620	**0,722	**0,803	**0,884	1,000	
Quebedo	**0,789	**0,519	*0,124	**0,530	**0,664	**0,646	**0,875	**0,911	1,000
PM <sub>10</sub>									
	Tróia	Q.ta da Murteira	Hospit.	Subest.	S. Filipe	P. do Sado	Arcos	Camar.	Queb.
Tróia	1,000								
Q. ta da Murteira	*0,905	1,000							
Hospital	*0,902	*0,851	1,000						
Subestação	*0,670	*0,602	*0,621	1,000					
S. Filipe	*0,826	*0,766	*0,786	*0,635	1,000				
Praias do Sado	*0,800	*0,869	*0,840	*0,845	*0,943	1,000			
Camarinha	*0,873	*0,850	*0,813	*0,705	*0,858	*0,787	—	1,000	
Quebedo	*0,867	*0,836	*0,792	*0,688	*0,868	*0,892	—	*0,889	1,000

\*\* A correlação é significativa a 0,01  
\* A correlação é significativa a 0,05

Face ao exposto, é possível concluir o seguinte:

- Praticamente não existe correlação entre as EMQA ao nível de SO<sub>2</sub>. Os valores mais elevados de correlação foram obtidos entre a estação S. Filipe e as estações Quinta da Murteira e Subestação. Estes valores poderão estar relacionados com as concentrações de fundo de SO<sub>2</sub>;
- As correlações entre as EMQA ao nível do NO<sub>x</sub> foram mais elevadas do que as observadas para o SO<sub>2</sub>. Na maioria dos casos verificou-se que é poluição gerada pela cidade de Setúbal que poderá estar na origem da correlação elevada. Os níveis mais elevados foram registados entre as estações da CCDR-LVT, e entre estas e as estações Tróia, S. Filipe e Praias do Sado. A estação Hospital não revela correlação com nenhuma das EMQA consideradas;
- Finalmente, ao nível das PM<sub>10</sub> não só se obtiveram os valores de correlação mais elevados, como foram observados valores elevados entre praticamente todas as EMQA. Este facto sugere que as correlações registadas estarão, provavelmente, relacionadas com as concentrações de fundo que existem na região.

Os resultados obtidos com o segundo e no terceiro tipo de correlações realizadas **entre as EMQA da RMQA em estudo e as emissões da SECIL – Outão** e entre as mesmas EMQA e **as emissões da CTS**, são apresentado no Quadro 5-2. Segundo esses resultados, verifica-se o seguinte:

- Praticamente não existe correlação entre os valores das concentrações de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> registados pelas EMQA e as duas fontes de poluição estacionárias;
- Os valores de correlação mais elevados correspondem a cerca de 0,25 e são observados entre a CTS e as EMQA ao nível das PM<sub>10</sub>. Verifica-se também um valor semelhante na correlação observada entre aquela fonte de poluição e a estação S. Filipe, ao nível do SO<sub>2</sub>;
- O valor de correlação mais elevado observado entre a SECIL-Outão e as EMQA é de cerca de -0,2 e ocorre entre esta fonte de poluição e a estação Tróia ao nível do SO<sub>2</sub>.

**Quadro 5-2** – Matriz de Correlação realizada entre as EMQA da RMQA em estudo e as emissões da Fábrica SECIL – Outão e da CTS, para o poluente SO<sub>2</sub>.

	SECIL	CTS	SECIL	CTS	SECIL	CTS
	SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		PM <sub>10</sub>	
Tróia	*-0,199	-0,091	*0,107	**0,166	0,005	<b>*0,211</b>
Q. <sup>ta</sup> da Murteira	-0,067	**0,179	0,066	**0,193	-0,039	<b>*0,277</b>
Hospital	-0,002	0,020	0,027	-0,022	0,038	<b>*0,216</b>
S. Filipe	0,034	<b>**0,228</b>	0,073	**0,173	—	—
* A correlação é significativa a 0,01 (2-tailed)						
** A correlação é significativa a 0,05 (2-tailed)						

### 5.2.2. Análise de Variância

Conforme foi descrito no capítulo da metodologia, foram realizados dois conjuntos de ANOVA's:

1. Um primeiro, que se destinou a avaliar a existência de efeito das emissões de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> da fábrica SECIL – Outão nos registos efectuados pelas estações da respectiva RMQA;
2. Um segundo, que teve como objectivo verificar se existe efeito da CTS (principal fonte de emissão de SO<sub>2</sub>) nas concentrações de SO<sub>2</sub> registadas pelas duas EMQA da Fábrica SECIL – Outão, que lhe estão mais próximas, ou seja, as estações Tróia e São Filipe.

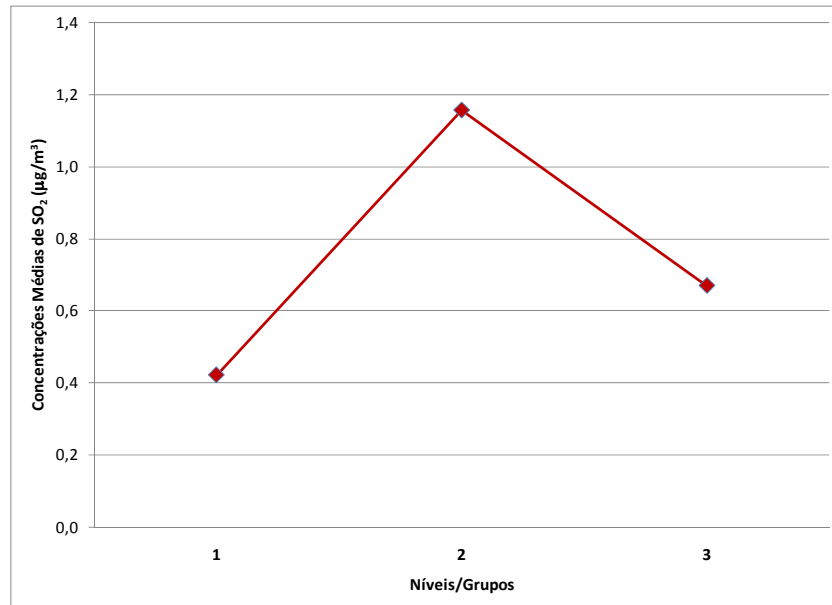
De acordo com os resultados obtidos no primeiro conjunto de ANOVAS (Quadro 5-3), verifica-se que foi aceite a hipótese nula em todas as estações e poluentes (as médias de todos os grupos são consideradas idênticas), à excepção da ANOVA realizada para a estação Hospital e para o poluente SO<sub>2</sub>. Neste caso, o nível de significância **P** (0,003) é inferior ao nível de significância **α** (0,05), significando que pelo menos uma das médias é estatisticamente diferente. No Apêndice VI podem ser consultados os quadros que descrevem estatisticamente as ANOVA realizadas.

**Quadro 5-3** – Resultados obtidos com as ANOVAS realizadas para a fábrica SECIL-Outão e respectiva RMQA.

EMQA	Concentrações Médias ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Concentração Média Total ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Significância (P)	Resultado ANOVA
	Níveis de Emissão de Poluentes					
	1	2	3			
SO <sub>2</sub>						
Quinta da Murteira	1,6	0,4	0,8	0,8	0,199	Médias iguais
Hospital	0,4	1,2	0,7	0,8	0,003	Media(s) diferente(s)
Tróia	10,7	11,4	3,6	5,7	0,061	Médias iguais
São Filipe	2,0	1,1	1,6	1,5	0,437	Médias iguais
NO <sub>x</sub>						
Quinta da Murteira	6,6	10,6	14,8	14,0	0,477	Médias iguais
Hospital	14,3	15,2	22,4	20,2	0,418	Médias iguais
Tróia	9,5	11,7	10,8	10,8	0,512	Médias iguais
São Filipe	12,5	10,6	11,3	11,3	0,743	Médias iguais
PM <sub>10</sub>						
Quinta da Murteira	18,3	26,4	19,6	20,3	0,799	Médias iguais
Hospital	26,4	19,7	26,6	24,8	0,098	Médias iguais
Tróia	16,0	13,2	13,4	13,6	0,384	Médias iguais
São Filipe	—	—	—	—	—	—

No caso das ANOVA realizadas para as concentrações de SO<sub>2</sub> e de PM<sub>10</sub> registadas, respectivamente, na estação Tróia e na estação Hospital, verificou-se que os níveis de significância *P* estão muito próximos dos níveis de significância  $\alpha$ , em particular no primeiro caso. Este resultado apenas indica que existe pelo menos uma média diferente com um grau de confiança de 90% (no caso de Tróia e de Hospital). Para o grau de confiança considerado, é assumido que as médias são estatisticamente iguais.

Apesar da ANOVA indicar que existe um efeito das emissões da SECIL-Outão nos registos de SO<sub>2</sub> efectuados pela estação Hospital Ortopédico do Outão, constata-se que os valores das concentrações médias, que foram determinados para cada nível/grupo, não aumentam com o aumento das emissões daquela fonte pontual (Figura 5-10).



**Figura 5-10** – Concentrações médias de SO<sub>2</sub> registados na estação Hospital Ortopédico do Outão, referentes aos níveis/grupos de emissões da SECIL-Outão considerados.

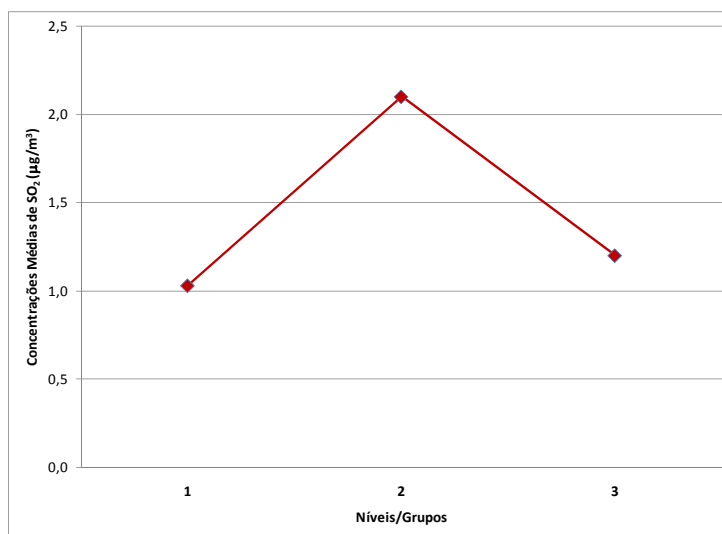
Os resultados apresentados no gráfico da figura anterior sugerem assim que as emissões da SECIL-Outão não serão as responsáveis pelas diferenças observadas nas três concentrações médias de SO<sub>2</sub>, registadas na estação Hospital Ortopédico do Outão.

Em relação aos resultados obtidos no segundo conjunto de ANOVA (Quadro 5-4), verifica-se que em apenas dois casos foi aceite a hipótese nula, nomeadamente, nas ANOVA realizadas às concentrações médias de SO<sub>2</sub> e de PM<sub>10</sub> que foram registadas na estação de Tróia. Nos restantes casos foi aceite a hipótese alternativa pois os níveis de significância *P* foram sempre inferiores aos níveis de significância  $\alpha$  (0,05). O valor de *P* mais baixo foi obtido na ANOVA realizada aos valores médios de NO<sub>x</sub> registados na estação Tróia.

**Quadro 5-4** – Resultados obtidos com as ANOVA realizadas para as estações da rede da CTS e EMQA Tróia e S. Filipe.

EMQA	Concentrações Médias (µg/m³)			Concentração Média Total (µg/m³)	Significância	Resultado ANOVA
	Níveis de Funcionamento da CTS					
	1	2	3			
SO <sub>2</sub>						
Tróia	2,7	2,9	2,0	2,7	0,708	Médias iguais
S. Filipe	1,0	2,1	1,2	1,3	0,029	Média(s) diferente(s)
NO <sub>x</sub>						
Tróia	21,8	21,8	34,7	24,9	0,009	Média(s) diferente(s)
S. Filipe	10,9	14,3	21,9	12,2	0,025	Média(s) diferente(s)
PM <sub>10</sub>						
Tróia	19,4	17,8	19,0	18,9	0,804	Médias iguais
S. Filipe	—	—	—	—	—	—

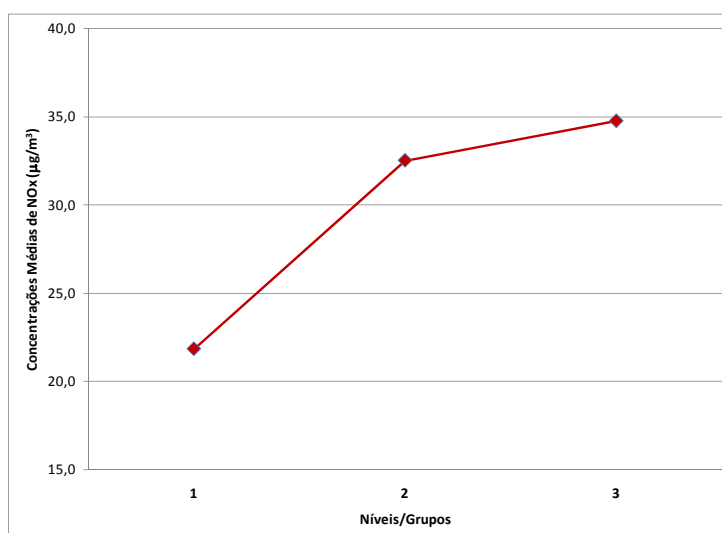
Apresenta-se na Figura 5-11 o gráfico das concentrações médias de SO<sub>2</sub> registados na estação de S. Filipe, que foram determinados para os três níveis/grupos definidos.



**Figura 5-11** – Concentrações médias de SO<sub>2</sub> registados na estação S. Filipe, referentes aos níveis/grupos considerados para o funcionamento da CTS.

Conforme se pode observar na Figura 5-11, os valores das concentrações médias não aumentam para todos os níveis/grupos da CTS, o que sugere que esta fonte pontual não será a responsável pelas diferenças verificadas entre as médias.

Apresenta-se nas Figura 5-12 o gráfico das concentrações médias de NO<sub>x</sub> registados na estação Tróia que foram determinados para os três níveis/grupos definidos.

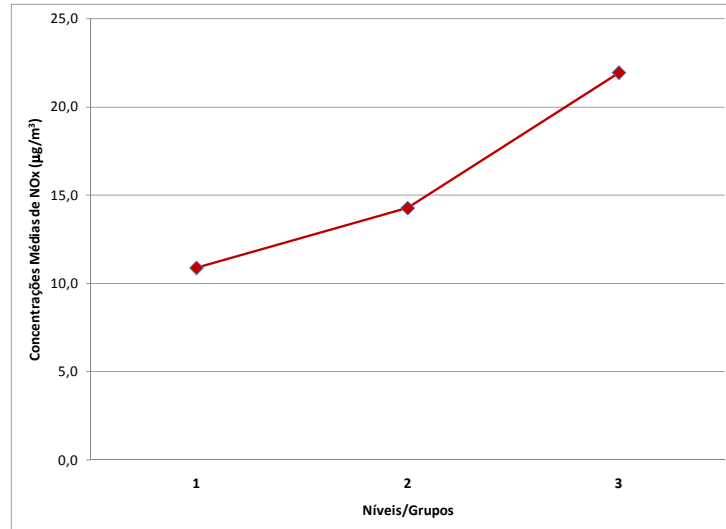


**Figura 5-12** – Concentrações médias de NO<sub>x</sub> registados na estação Tróia, referentes aos níveis/grupos considerados para o funcionamento da CTS.



No caso indicado na figura anterior, verifica-se que os valores das concentrações médias aumentam com o aumento dos níveis/grupos de funcionamento da CTS. Tal pode significar que a estação Tróia está a registar o efeito da poluição atmosférica causado pela CTS ao nível do  $\text{NO}_x$ .

Apresenta-se nas Figura 5-13 o gráfico das concentrações médias de  $\text{NO}_x$  registados na estação S. Filipe que foram determinados para os três níveis/grupos definidos.



**Figura 5-13** – Concentrações médias de  $\text{NO}_x$  registados na estação S. Filipe, referentes aos níveis/grupos considerados para o funcionamento da CTS.

O gráfico apresentada na figura anterior, sugere também que a estação S. Filipe está a registar o efeito da poluição atmosférica causado pela CTS ao nível do  $\text{NO}_x$ , pois as concentrações deste poluente aumentam com o aumento dos níveis de funcionamento daquela central.



## 6. CONCLUSÕES

A monitorização da qualidade do ar desempenha um papel extremamente importante na preservação e gestão do recurso ar. Esta tarefa permite o conhecimento do nível de poluição atmosférica que ocorre num determinado local e/ou região, e fornece pistas importantes para a identificação das fontes de poluição atmosférica locais e remotas. A escolha dos melhores locais para a instalação de estações que monitorizem o efeito global na qualidade do ar no interior e/ou envolvente de uma zona industrial é fundamental para garantir que seja produzida informação fiável e representativa.

Para poder avaliar o efeito das emissões atmosféricas, a SECIL-Outão procedeu, em 2004, à instalação de uma rede própria de monitorização da qualidade do ar. A selecção dos melhores locais para a instalação das estações de monitorização de qualidade do ar (EMQA) foi feita com base em estudos realizados especificamente para o efeito. Esta rede encontra-se instalada numa região extremamente complexa, no que diz respeito à circulação das massas de ar e ao efeito que as mesmas têm sobre a dispersão dos poluentes atmosféricos. Os parâmetros meteorológicos e a orografia do local são os factores que mais condicionam o regime dos ventos e a distribuição das concentrações dos poluentes na região em estudo. Face a estes aspectos, revela-se fundamental perceber se a referida rede de monitorização da qualidade do ar (RMQA) produz informação fiável e representativa, tendo em conta o fim a que se destina.

O presente trabalho teve, assim, como objectivo, avaliar a existência de uma relação causal e directa entre as emissões de poluentes atmosféricos da fábrica SECIL-Outão e os valores de qualidade do ar, que foram registados pela RMQA que lhe está associada. Foi, portanto, avaliada a capacidade de resposta da referida RMQA às emissões da referida unidade industrial, e se a mesma é influenciada pelas emissões de outras fontes de poluição atmosférica.

Para a concretização destes objectivos foram utilizadas duas técnicas estatísticas de tratamento de dados, designadas de análise de correlação e análise de variância (ANOVA). Como complemento as estas duas análises, foi realizado um outro conjunto de análises, destinado a dar uma perspectiva geral sobre a distribuição das concentrações dos poluentes pela área em estudo, e da influência de alguns factores ambientais nessa mesma distribuição.

Em relação à **análise de correlação**, os resultados obtidos com o primeiro grupo de correlações, apontam para a existência de correlação significativa entre os registos de  $PM_{10}$  efectuados pelas estações da RMQA da fábrica SECIL-Outão (coeficientes de correlação de 0,77 a 0,94). Os coeficientes de correlação mais elevados verificaram-se entre a estação Tróia e as estações Q.<sup>ta</sup> da Murteira e Hospital Ortopédico do Outão, e entre a estação S. Filipe e a estação Praias do Sado. Ora, já nos resultados obtidos com as rosas-de-poluição elaboradas para as  $PM_{10}$  se constatou que as concentrações deste poluente se distribuem de uma forma, relativamente, homogénea por todas as direcções. Estes resultados vêm, assim, reforçar a ideia de que é a poluição de fundo a principal causadora dos valores de  $PM_{10}$  registados pelas EMQA. Estes resultados não foram conclusivos no que diz respeito à influência da brisa marítima nos valores de  $PM_{10}$  registados. Todas as EMQA

apresentaram padrões semelhantes de distribuição das concentrações pelas várias direcções, quer se encontrem junto ao mar ou mais afastadas, como é o caso da estação Q.<sup>ta</sup> da Murteira.

Em relação aos coeficientes de correlação obtidos para os registos de NO<sub>x</sub>, de um modo geral, verificou-se que foram inferiores aos obtidos para os registos das PM<sub>10</sub>. No entanto, observaram-se correlações significativas entre a estação Quebedo e as estações Arcos e Camarinha (0,88 e 0,91), e entre estas três estações e a estação Tróia (entre 0,71 e 0,79) e S. Filipe (entre 0,70 e 0,72). Estes resultados sugerem, assim, que a cidade de Setúbal é uma importante fonte de NO<sub>x</sub> e que exerce uma influência significativa sobre os valores registados naquelas duas estações. De facto, um dos picos de poluição detectados na rosa-de-poluição de NO<sub>x</sub> elaborada para a estação de Tróia, encontra-se na direcção da cidade de Setúbal. Os gráficos das médias sugerem também que este aglomerado populacional é uma importante fonte de NO<sub>x</sub>.

Para os valores das concentrações de SO<sub>2</sub>, não se obtiveram correlações tão significativas pois o coeficiente de correlação mais elevado não ultrapassou os 0,59 que apenas foi atingido entre a estação S. Filipe e as estações Subestação.

No segundo conjunto correlações realizadas, verificou-se que não existe qualquer correlação entre as emissões da SECIL-Outão e as respectivas EMQA. Para qualquer um dos poluentes considerados os coeficientes de correlação variaram entre -0,20 e 0,11. Os resultados obtidos com o processamento direccionado, sugerem também que nenhum dos picos de concentração detectados provêm daquela fonte de poluição pontual.

Finalmente, os resultados obtidos com o terceiro conjunto de correlações (entre as EMQA da fábrica SECIL-Outão e as emissões da central termoeléctrica de Setúbal (CTS)) foram, de um modo geral, mais elevados do que os observados entre as mesmas EMQA e as emissões da SECIL-Outão. Os valores mais elevados foram observados ao nível das PM<sub>10</sub>. Não obstante, tal não significa que exista uma correlação linear considerável, pois estes coeficientes de correlação variaram apenas entre 0,21 e 0,27.

Em relação às ANOVA realizadas, os resultados obtidos permitem concluir que nenhuma das EMQA pertencentes à RMQA da fábrica da SECIL-Outão, está a detectar o efeito das emissões de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> geradas por aquela unidade industrial. Embora a ANOVA realizada para a estação Hospital Ortopédico do Outão revele um nível significância inferior ao nível de significância de 0,05, constatou-se que os efeitos gerados pelas emissões da SECIL-Outão não resultaram num aumento dos valores das concentrações médias de SO<sub>2</sub> em todos os grupos. Verificou-se um aumento no primeiro e no segundo grupo (0,42 µg/m<sup>3</sup> e 1,16 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente), contudo ocorre uma redução no terceiro grupo (0,67 µg/m<sup>3</sup>), o que revela que não são as emissões da fábrica SECIL-Outão que estão a causar a diferença entre as médias.

Pelo contrário, os resultados obtidos com as ANOVA's realizadas entre as EMQA da fábrica SECIL-Outão e a CTS, indicam que as estações Tróia e S. Filipe estão a registar os efeitos gerados pelo NO<sub>x</sub> emitido pela CTS. Por um lado, os resultados indicam que existe pelo menos uma média que é

estatisticamente diferente (os níveis de significância foram de 0,009, para a estação de Tróia, e de 0,025 para a estação de S. Filipe). Por outro lado, verifica-se que os valores médios das concentrações daquele poluente aumentam com o aumento dos níveis de funcionamento da CTS. De facto, as rosas-de-poluição elaboradas para os valores de NO<sub>x</sub> registados naquelas duas estações evidenciam um pico de concentração proveniente da direcção da CTS.

Os resultados obtidos demonstram, claramente, que as técnicas estatísticas utilizadas constituem poderosas ferramentas de análise e de interpretação de dados de qualidade do ar. Por um lado, a análise de correlação permite verificar quais as EMQA que fornecem a mesma informação. Por outro lado, a ANOVA permite avaliar o efeito que determinada fonte pontual de poluição atmosférica tem sobre os registos efectuados nas EMQA e, consequentemente, sobre o estado de qualidade do ar. Como complemento, a análise de correlação pode fornecer pistas importantes sobre a influência das fontes de poluição difusa (como sejam as fontes em área) no estado de qualidade do ar envolvente.

Uma outra vantagem importante é o facto destas técnicas estarem, actualmente, disponíveis em programas informáticos poderosos, que têm capacidade para, num curto espaço de tempo, processar e analisar um grande volume de informação, e fornecer os resultados estatísticos pretendidos.

Não obstante, estas duas técnicas estatísticas apresentam algumas limitações que devem ser tidas em consideração na interpretação dos resultados. Por um lado, estes métodos são extremamente sensíveis às direcções dos ventos escolhidas para definir a origem da poluição atmosférica que é gerada por uma determinada unidade industrial. Neste estudo foram definidos intervalos de direcções para limitar a ANOVA, contudo tal poderá conduzir a resultados falsos pois nem sempre as massas de ar se deslocam em linha recta, especialmente, em locais com orografias complexas. O mesmo acontece em relação à análise de correlação, pois poderá observar-se um coeficiente de correlação baixo entre uma EMQA e uma fonte de poluição caso sejam seleccionadas as direcções menos representativas da poluição que é gerada por essa mesma fonte.

Uma outra limitação à aplicação destas técnicas é a necessidade de se dispor de dados de concentração de poluentes que sejam recolhidos em períodos suficientemente longos. Apenas desse modo as amostras poderão ser consideradas representativas e os resultados poderão ser considerados estatisticamente válidos. Ora nem sempre tal é possível, pois a inexistência de estações fixas de monitorização da qualidade do ar, obriga à realização de campanhas de monitorização cujos períodos são sempre reduzidos e limitados no tempo.

Como corolário da síntese anterior, e apesar das EMQA já se encontrarem em pleno funcionamento, pode-se afirmar que os registos que têm vindo a efectuar não apontam para a existência de uma relação entre as emissões da SECIL-Outão e as concentrações detectadas. Tal indica que os níveis de emissão dos poluentes emitidos pela fábrica deverão ser pouco significativos, em termos de influência da envolvente estudada, ou que a dispersão dos poluentes não conduziram a uma variação identificável nas concentrações registadas nas estações.

Como desenvolvimentos futuros, recomenda-se a adição à análise efectuada dos resultados de um modelo de qualidade do ar que procure replicar os padrões de circulação de massas de ar na região em estudo, recorrendo a um esforço grande de calibração da componente meteorológica, a fim de se perceber quais as direcções dos ventos em cada EMQA que devem ser associadas às emissões geradas por uma determinada fonte de poluição pontual.

Apesar das limitações encontradas, considera-se que os resultados apresentados no presente estudo podem contribuir, de forma significativa, para a identificação dos locais mais adequados para instalar EMQA que monitorizem as emissões atmosféricas da SECIL-Outão. Tendo em conta os resultados obtidos, considera-se que poderão ser identificados novos locais para a localização de algumas EMQA, em particular São Filipe. Propõem-se que esta estação seja relocada para um local mais próximo da fábrica, contudo deverá ficar na mesma direcção a que a estação de S. Filipe se encontra.

Em relação às restantes estações, apesar dos resultados apontarem para a inexistência de uma relação com as emissões da SECIL-Outão, podem justificar-se pelos seguintes motivos:

- Por fornecerem informação útil sobre os níveis de fundo dos poluentes, principalmente no caso da Quinta da Murteira, pois está na direcção dos ventos dominantes;
- Por estarem na linha mais provável de impacte da fábrica (Tróia), tendo em conta o regime normal dos ventos. A estação de Tróia pode ser muito útil em situações em que se verifique uma emissão excessiva de poluentes para a atmosfera (por exemplo, eventuais avarias dos sistemas de tratamento dos efluentes gasosos);
- Ou por estarem junto à fábrica e em zonas sensíveis onde é importante monitorizar (Hospital Ortopédico do Outão).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul-Wahab, S. A. (2006). *Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities*. Ecological Modelling 195 (2006), 338–348.
- Al-Rashidi, M.S., Nassehi, V., Wakeman, R.J. (2005). *Investigation of the efficiency of existing air pollution monitoring sites in the state of Kuwait*. Environmental Pollution 138 (2005), 219-229.
- APA (2006). *Alocação especial de emissões em 2003*. Agência Portuguesa de Ambiente. Novembro de 2006.
- Beguma, B. A., Kimb, E., Biswasa, S. K., Hopkeb, P. K. (2004). *Investigation of sources of atmospheric aerosol at urban and semi-urban areas in Bangladesh*. Atmospheric Environment 38 (2004), 3025–3038.
- C.C. Tseng e Ni-Bi Chang (2001). *Assessing relocation strategies of urban air quality monitoring stations by GA-based compromise programming*. Environment International 26 (2001), 523-541.
- CCDDR-LVT e Inventar (2006). *Inventário de Emissões Atmosféricas da Região de Lisboa e Vale do Tejo 2000-2001*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. Lisboa, Dezembro de 2006.
- CCDDR-LVT (2002). *PROT-AML, Plano Regional de Ordenamento do Território da Área Metropolitana de Lisboa*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo. Lisboa, Abril de 2002.
- CE (2008). *Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio de 2008, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa*. Comissão Europeia. Jornal Oficial da União Europeia, L152, pp. 1-44. 16 de Junho de 2008.
- CE (1997). *Position Paper on Air Quality: nitrogen dioxide*. Comissão Europeia, Novembro de 1997.
- C+P.A. (2005). *Estudo de Impacte Ambiental da Unidade de Recepção e Moagem de Clínquer do Porto de Setúbal e Respectivo Cais de apoio*. C+PA Cimentos e Produtos Associados, SA. Lisboa, 2005.
- DCEA (2003). *Proposta de Localização das Estações de Monitorização de Qualidade do Ar. SECIL – Outão*. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Monte da Caparica, 2003.
- Demerjian, K. L. (2000). *A review of national monitoring networks in North America*. Atmospheric Environment 34 (2000), 1861-1884.
- DGA (2001). *Avaliação da Qualidade do ar em Portugal – NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> – Tubos de Difusão*. Direcção Geral do Ambiente do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Alfragide, Dezembro de 2001.
- INCM (2002). *Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril*. Imprensa Nacional-Casa da Moeda. Diário da República I Série-A, N.º 89, pp. 3711-3722.
- INCM (2005). *Decreto-Lei n.º 85/2005, de 28 de Abril*. Imprensa Nacional-Casa da Moeda. Diário da República I Série-A, N.º 82, pp. 3214-3234.

- Elkamel, A., *et al.* (2007). *A heuristic optimization approach for Air Quality Monitoring Network design with the simultaneous consideration of multiple pollutants*. Journal of Environmental Management (2007), doi:10.1016/j.jenvman.2007.03.029
- Engelstaedter, S. e Tegen, I., Washington, R. (2006). *North African dust emissions and transport*. Earth-Science Reviews 79 (2006), 73–100.
- Ferreira, F. (1998). *Digital Video Applied to Air Quality Monitoring*, Dissertação apresentada para obtenção de Grau de Doutor em Sistemas Naturais e Suas Tensões. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
- Gobbi, G.P., Barnaba, F., Ammannato, L. (2007). *Estimating the impact of Saharan dust on the year 2001 PM<sub>10</sub> record of Rome, Italy*. Atmospheric Environment 41 (2007), 261–275.
- INMG (1991). O Clima de Portugal – Normais Climatológicas da Região de “Ribatejo e Oeste”, correspondente a 1961-1990, Fascículo XLIX, Volume 1 – 2.<sup>a</sup> Região, Lisboa.
- Nguyen, H. T. e Kim, KH, (2006). *Comparison of spatiotemporal distribution patterns of NO<sub>2</sub> between four different types of air quality monitoring stations*. Chemosphere 65 (2006), 201–212.
- IA (2002). *Avaliação Preliminar da Qualidade do Ar em Portugal, no âmbito da Directiva 1999/30/CE – SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> e Pb*. Instituto do Ambiente do Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Julho de 2002.
- Isikli, B., Demir, T. A., Akar, T., Berber, A., Urer, S. M., Kalyoncu, C., Canbek, M. (2006). *Cadmium exposure from the cement dust emissions: A field study in a rural residence*. Chemosphere 63 (2006), 1546–1552.
- Kao, JJ e Hsieh, MR (2006). *Utilizing multiobjective analysis to determine an air quality monitoring network in an industrial district*. Atmospheric Environment 40 (2006), 1092–1103.
- Josa, A., Aguado, A., Heino, A., Byars, E., Cardim, A. (2004). *Comparative analysis of available life cycle inventories of cement in the EU*. Cement and Concrete Research 34 (2004), 1313 – 1320.
- Kanaroglou, P. S., Jerrett, M., Morrison, J., Beckerman, B., Arain, M. A., Gilbert, N. L., Brook, J. R. (2005). *Establishing an air pollution monitoring network for intraurban population exposure assessment: A location-allocation approach*. Atmospheric Environment 39 (2005), 2399–2409.
- Kima, E. e Hopke, P. K. (2004). *Comparison between Conditional Probability Function and Nonparametric Regression for Fine Particle Source Directions*. Atmospheric Environment 38 (2004), 4667–4673.
- Kima, E., Larsonb, T. V., Hopkea, P. K., Slaughterc, C., Sheppard, L. E., Claiborn, C. (2003). *Source identification of PM<sub>2.5</sub> in an arid Northwest U.S. City by positive matrix factorization*. Atmospheric Research 66 (2003), 291–305.
- Koelemeijer, R.B.A., Homan, C.D., Matthijsen, J. (2006) *Comparison of spatial and temporal variations of aerosol optical thickness and particulate matter over Europe*. Atmospheric Environment 40 (2006), 5304–5315.



- Mlakar, P. (2004). *Investigation of the efficiency of existing air pollution monitoring sites in the state of Kuwait*. Nuovo Cimento Della Societa Italiana di Fisica C-Geophysics and Space Physics 27 (6): 595-609 Nov-Dec 2004.
- Pires, J.C.M., Sousa, S.I.V., Pereira, M.C., Alvim-Ferraz, M.C.M., Martins, F.G. (2007a), *Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis — Part I: SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>*. Atmospheric Environment (2007), doi:10.1016/j.atmosenv.2007.10.044.
- Pires, J.C.M., Sousa, S.I.V., Pereira, M.C., Alvim-Ferraz, M.C.M., Martins, F.G. (2007b), *Management of air quality monitoring using principal component and cluster analysis — Part II: CO, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>*. Atmospheric Environment (2007), doi:10.1016/j.atmosenv.2007.10.041
- SECIL (2007). *Estudo de Impacte Ambiental da Co-incineração de Resíduos Industriais Perigosos na Fábrica SECIL-Outão*. SECIL, Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A. Setúbal, 2007.
- SECIL (2006). *Estudo de Dispersão Atmosférica no Complexo Fabril da SECIL-Outão*. Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A. Setúbal, Abril de 2006.
- Silva, C., Quiroz, A. (2003). *Optimization of the atmospheric pollution monitoring Network at Santiago de Chile*. Atmospheric Environment 37 (2003) 2337–2345.
- Vallero, D. (2008). *Fundamentals of Air Pollution – Fourth Edition*. Pag. 360. 2008, Durham, North Carolina.
- Vardoulakis, S. e Kassomenos, P. (2007). *Sources and factors affecting PM<sub>10</sub> levels in two European cities: Implications for local air quality management*. Atmospheric Environment (2007), doi:10.1016/j.atmosenv.2006.12.021.
- Venegas, L. E. e Mazzeo, N. A. *Air quality monitoring network design to control PM<sub>10</sub> in Buenos Aires city*. Lat. Am. Appl. Res., oct./dic. 2006, vol.36, no.4, p.241-247. ISSN 0327-0793.
- Hsu, YK e Holsen, T. M., Hopke., P. K. (2003). *Comparison of hybrid receptor models to locate PCB sources in Chicago*. Atmospheric Environment 37 (2003), 545–562.
- Choi, YJ e Ehrman, S. H. (2004). *Investigation of sources of volatile organic carbon in the Baltimore area using highly time-resolved measurements*. Atmospheric Environment 38 (2004), 775–791.
- Xie, Y. e Berkowitz, C. M. (2007). *The use of conditional probability functions and potential source contribution functions to identify source regions and advection pathways of hydrocarbon emissions in Houston, Texas*. Atmospheric Environment, Vol. 41, No. 28. (September 2007), pp. 5831-5847.

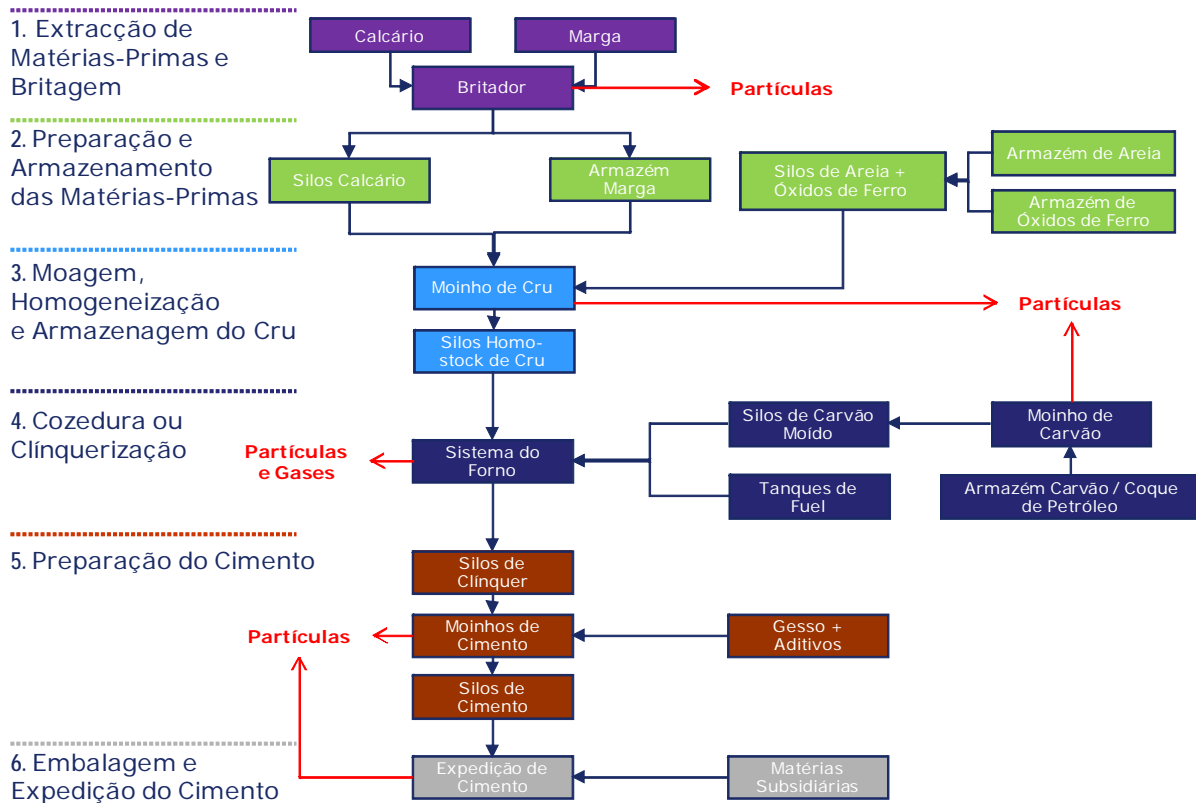


# APÊNDICES



## **APÊNDICE I – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICO DA SECIL-OUTÃO E PRINCIPAIS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

---



## **APÊNDICE II – MATRIZ DE CLASSES DE ESTABILIDADE**

---

Velocidade do vento a 10 m do solo (m/s)	Radiação solar (I) (W/m <sup>2</sup> )			Cobertura noturna de nuvens (cn)	
	I > 700	350 ≤ I ≤ 700	I < 350	cn ≥ 4/8	cn ≤ 3/8
< 2	A	A – B	B	—	—
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D
Onde:	A: extremamente instável		D: neutra		
	B: moderadamente instável		E: fracamente estável		
	C: fracamente instável		F: moderadamente estável		

Figura 1 – Matriz de classes de estabilidade de Pascalli.



### **APÊNDICE III – VALORES MÉDIOS E DESVIOS-PADRÃO DAS CONCENTRAÇÃO DE CADA POLUENTE CONSIDERADO**

---

Quadro 1 – Valores Médios e Desvios-padrão das concentrações de SO<sub>2</sub> registadas nas EMQA consideradas

Estação	Média	Max	Min	Dpadrão
Hospital	14,57	439,01	0,00	64,70
Q.ta da Murteira	1,39	16,85	0,00	2,28
Troia	5,69	134,73	0,01	15,05
Camarinha	2,52	48,75	0,06	4,93
Quebedo	3,75	52,70	0,67	5,30
Praias do Sado	2,35	10,54	0,27	2,37
S. Filipe	1,43	28,31	0,11	2,01
Subestação	1,92	14,85	0,21	1,81

Quadro 2 – Valores Médios e Desvios-padrão das concentrações de NO<sub>x</sub> registadas nas EMQA consideradas

Estação	Média	Max	Min	Dpadrão
Hospital	18,07	447,05	0,39	33,17
Q.ta da Murteira	10,27	53,44	0,24	7,42
Troia	14,70	52,17	1,85	9,74
Arcos	24,53	79,87	7,15	14,23
Camarinha	27,49	88,03	8,92	13,97
Quebedo	49,23	151,78	16,39	23,27
Praias do Sado	25,71	44,78	9,88	10,89
São Filipe	10,60	45,59	1,05	6,94
Subestação	39,94	152,55	4,50	27,64

Quadro 3 – Valores Médios e Desvios-padrão das concentrações de PM<sub>10</sub> registadas nas EMQA consideradas

Estação	Média	Max	Min	Dpadrão
Hospital	25,24	112,74	4,90	15,33
Q.ta da Murteira	16,45	80,54	3,72	10,08
Troia	18,18	104,71	3,14	12,00
Camarinha	31,79	127,28	7,63	18,11
Quebedo	34,19	120,40	8,36	18,05
Praias do Sado	19,20	49,22	2,61	12,97
S. Ovídio	14,74	110,68	0,00	13,10
Subestação	20,15	120,83	4,60	14,10
Hospital	25,24	112,74	4,90	15,33

## **APÊNDICE IV – ROSAS DE POLUIÇÃO**

---

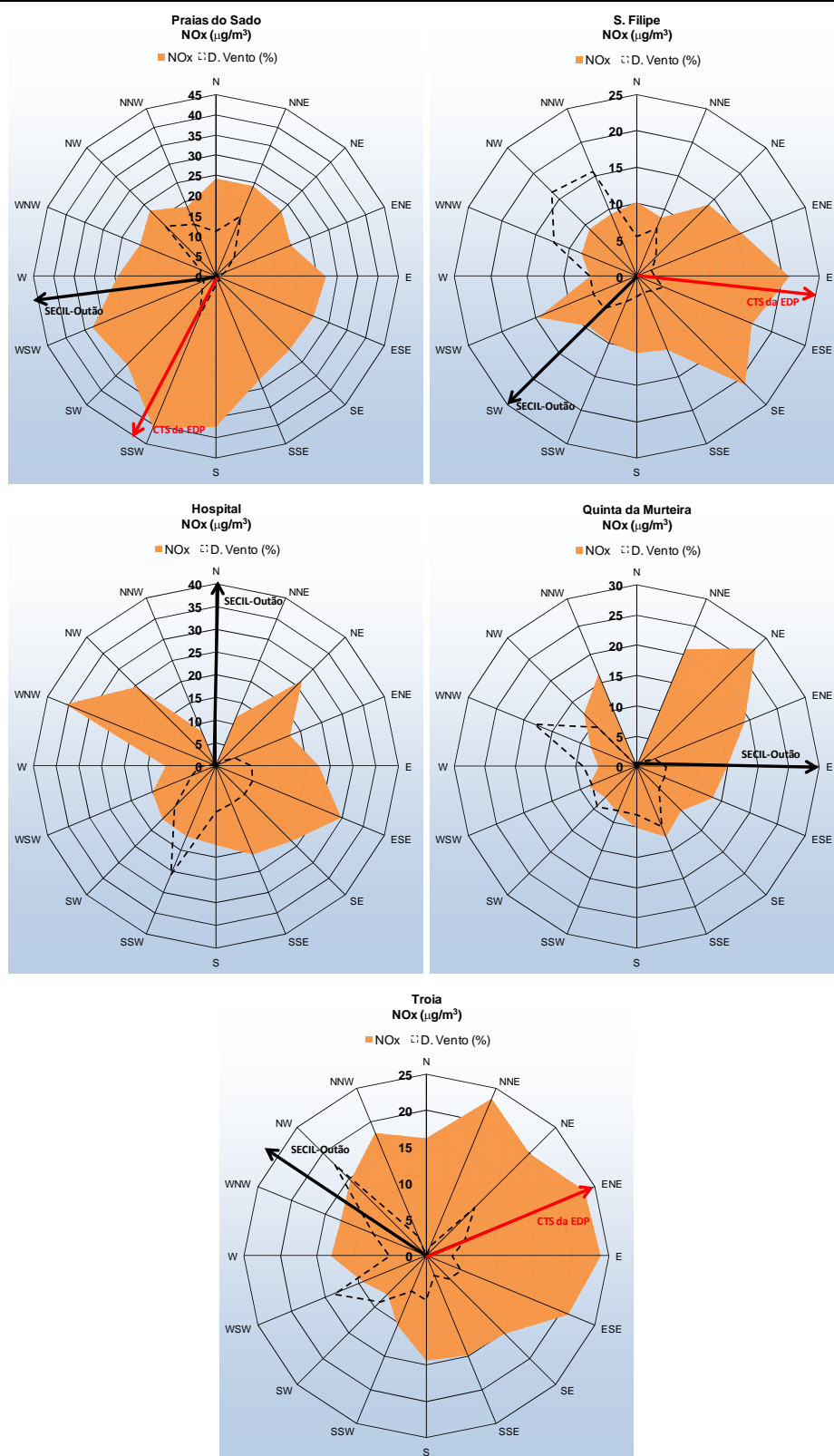
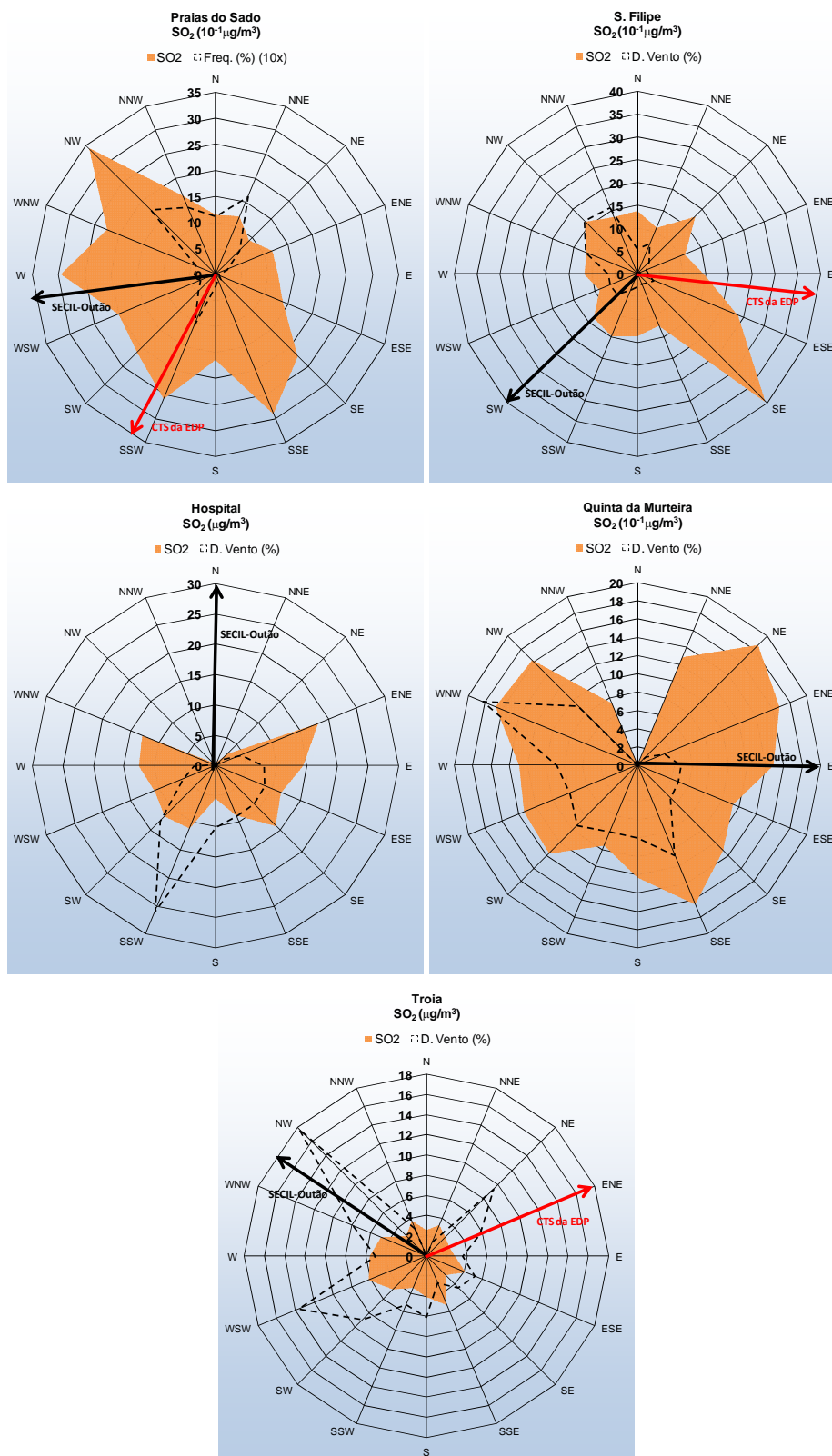
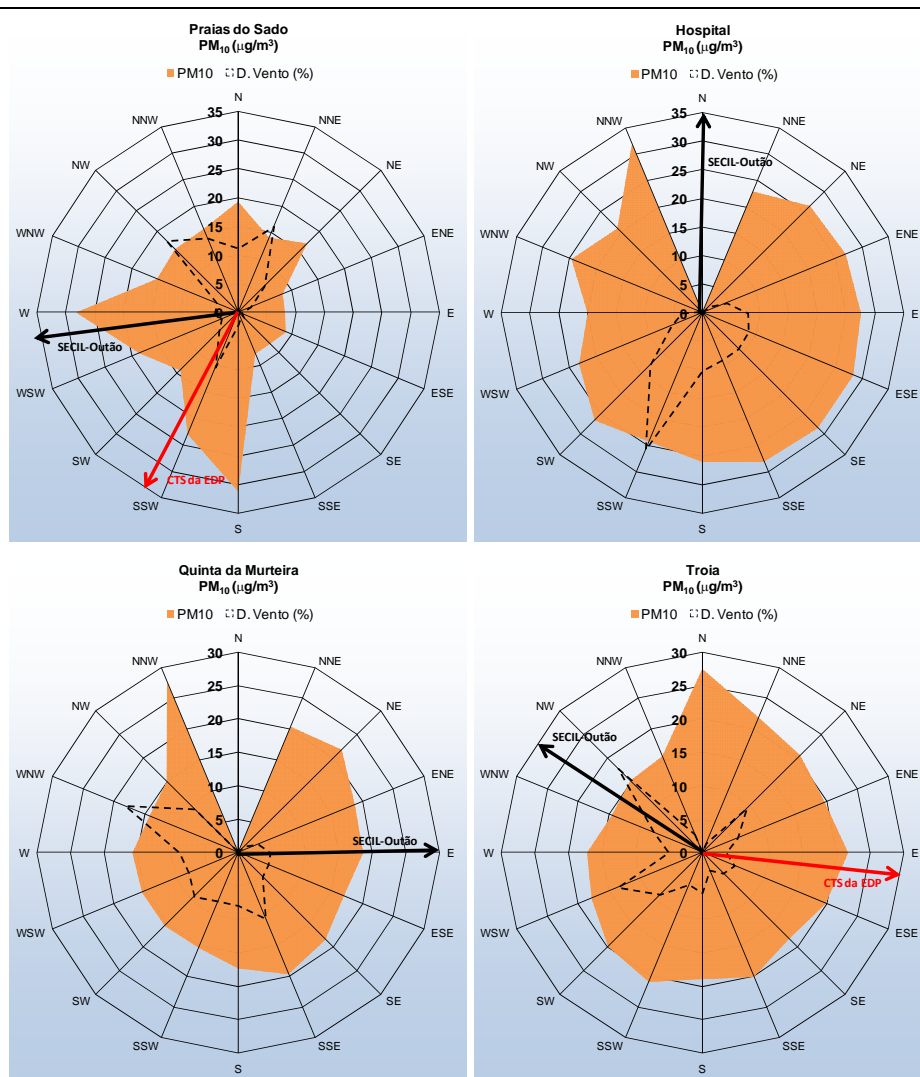


Figura 1 – Rosas de Poluição ( $\text{NO}_x$ ).

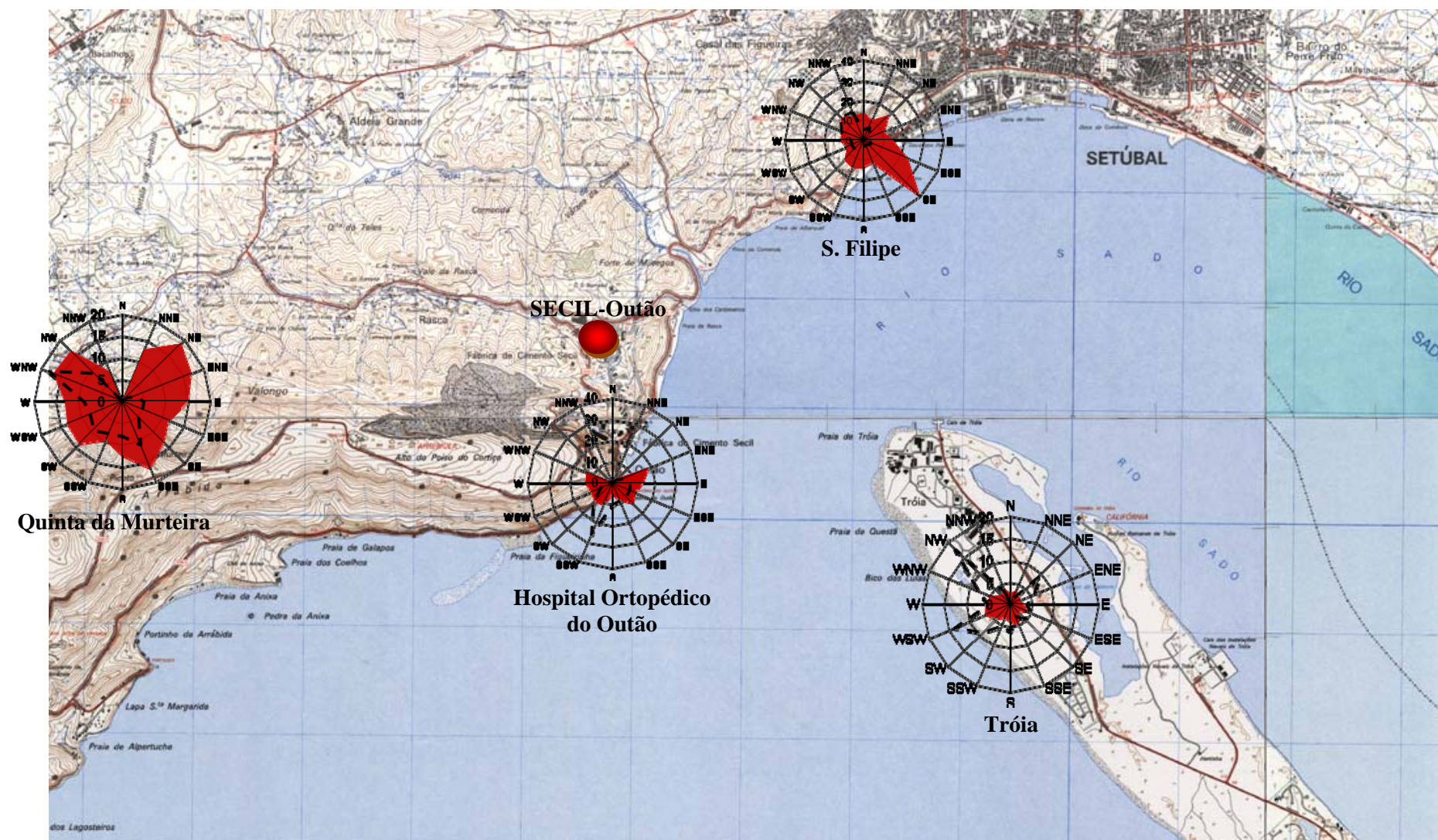


**Figura 2 – Rosas de Poluição (SO<sub>2</sub>).**



**Figura 3 – Rosas de Poluição (PM<sub>10</sub>).**

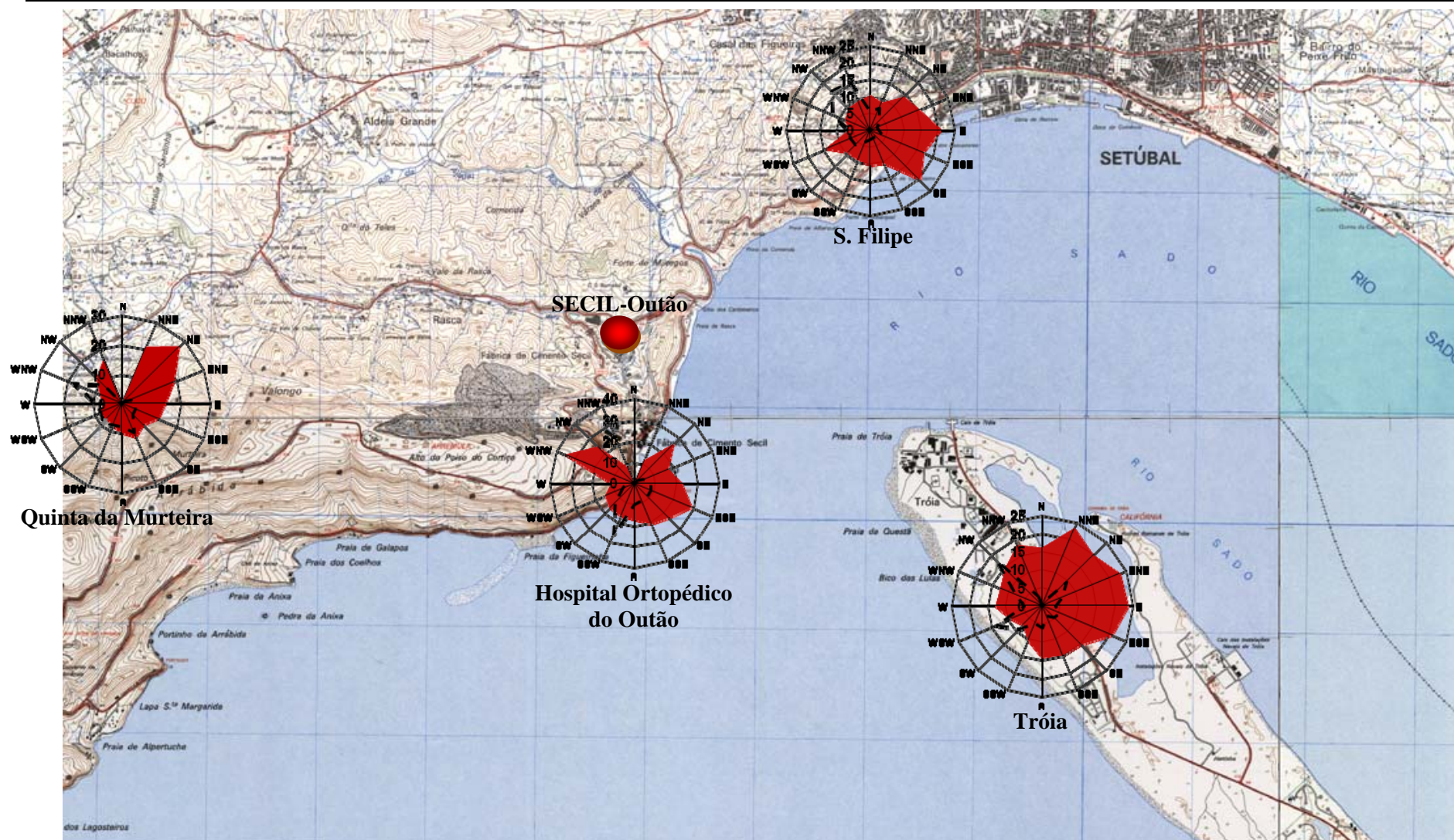




**Figura 4** – Mapa com Rosas de Poluição elaboradas a partir das concentrações médias de  $\text{SO}_2$  registadas nas estações da RMQA da fábrica SECIL-Outão.



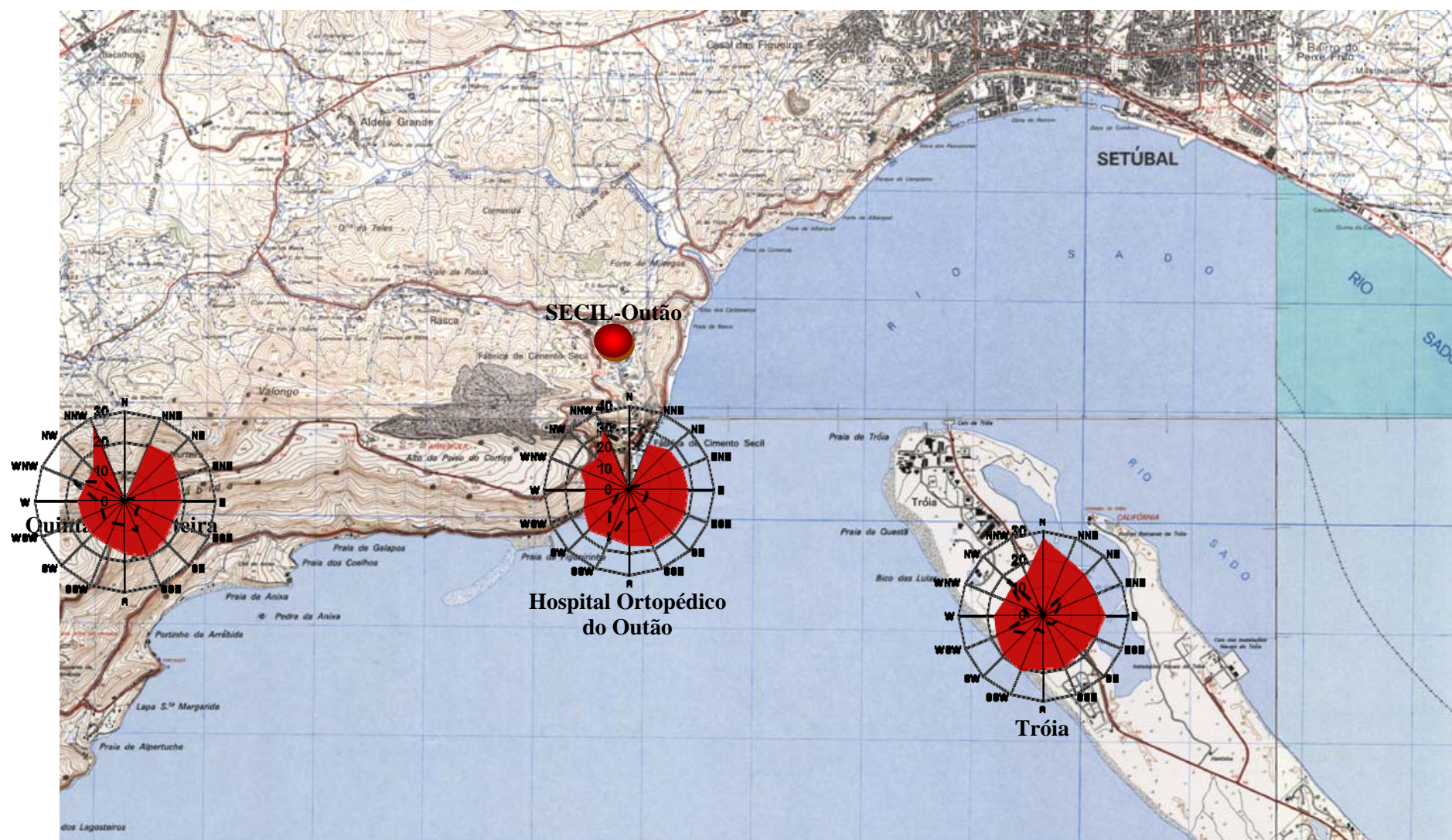




**Figura 5** – Mapa com Rosas de Poluição elaboradas a partir das concentrações médias de NOx registadas nas estações da RMQA da fábrica SECIL-Outão.







**Figura 6** – Mapa com Rosas de Poluição elaboradas a partir das concentrações médias de PM<sub>10</sub> registadas nas estações da RMQA da fábrica SECIL-Outão.



## **APÊNDICE V – VALORES ESTATÍSTICOS DAS CORRELAÇÕES**

---

Quadro 1 – Descrição estatística da correlação realizada entre as EMQA das RMQA consideradas, para o poluente SO<sub>2</sub>.

	Mean	Std. Deviation	N
Troia	5,69042	15,050126	313
Qmurteira	1,39198	2,282780	361
Hospital	14,56610	64,701252	271
Subestação	1,92120	1,808437	354
Sfilipe	1,43112	2,009823	354
Psado	2,35060	2,365934	17
Camarinha	2,51580	4,928453	347
Quebedo	3,75298	5,304817	351

Quadro 2 – Descrição estatística da correlação realizada entre as EMQA das RMQA consideradas, para o poluente NO<sub>x</sub>.

	Mean	Std. Deviation	N
Troia	14,69736	9,736705	341
Qmurteira	10,26826	7,424641	321
Hospital	18,06568	33,174520	332
Subestação	39,94036	27,641926	365
Sfilipe	10,60167	6,940473	331
Psado	25,70734	10,886066	27
Arcos	24,53242	14,233479	355
Camarinha	27,49295	13,974762	363
Quebedo	49,23443	23,270681	365

Quadro 3 – Descrição estatística da correlação realizada entre as EMQA das RMQA consideradas, para o poluente PM<sub>10</sub>.

	Mean	Std. Deviation	N
Troia	18,17825	12,003466	345
Qmurteira	16,44531	10,082997	279
Hospital	25,23592	15,332763	349
Subestação	20,14932	14,102582	316
Sovidio	17,57876	12,440480	306
Psado	19,19740	12,971728	17
Camarinha	31,79166	18,107519	325
Quebedo	34,19204	18,052461	343

Quadro 4 – Descrição estatística da correlação realizada entre a EMQA da RMQA em estudo e as emissões da Fábrica SECIL – Outão, para o poluente SO<sub>2</sub>.

	Mean	Std. Deviation	N
Troia	5,69042	15,050126	313
Qmurteira	1,39198	2,282780	361
Hospital	14,56610	64,701252	271
Sfilipe	1,43112	2,009823	354
SECIL	570145,30	172344,769	365

Quadro 5 – Descrição estatística da correlação realizada entre a EMQA da RMQA em estudo e as emissões da Fábrica SECIL – Outão, para o poluente NOx.

	Mean	Std. Deviation	N
Troia	14,69736	9,736705	341
Qmurteira	10,26826	7,424641	321
Hospital	18,06568	33,174520	332
Sfilipe	10,60167	6,940473	331
SECIL	570145,30	172344,769	365

Quadro 6 – Descrição estatística da correlação realizada entre a EMQA da RMQA em estudo e as emissões da Fábrica SECIL – Outão, para o poluente PM<sub>10</sub>.

	Mean	Std. Deviation	N
Troia	18,17825	12,003466	345
Qmurteira	16,44531	10,082997	279
Hospital	25,23592	15,332763	349
SECIL	570145,30	172344,769	365

Quadro 7 – Descrição estatística da correlação realizada entre a EMQA da RMQA em estudo e as emissões da CTS, para o poluente SO<sub>2</sub>.

	Mean	Std. Deviation	N
Troia	5,69042	15,050126	313
Qmurteira	1,39198	2,282780	361
Hospital	14,56610	64,701252	271
Sfilipe	1,43112	2,009823	354
CTS	8,32680	16,478010	365

Quadro 8 – Descrição estatística da correlação realizada entre a EMQA da RMQA em estudo e as emissões da CTS, para o poluente NOx.

	Mean	Std. Deviation	N
Troia	14,69736	9,736705	341
Qmurteira	10,26826	7,424641	321
Hospital	18,06568	33,174520	332
Sfilipe	10,60167	6,940473	331
CTS	8,32680	16,478010	365

Quadro 9 – Descrição estatística da correlação realizada entre a EMQA da RMQA em estudo e as emissões da CTS, para o poluente PM<sub>10</sub>.

	Mean	Std. Deviation	N
Troia	18,17825	12,003466	345
Qmurteira	16,44531	10,082997	279
Hospital	25,23592	15,332763	349
CTS	8,32680	16,478010	365





## APÊNDICE VI – RESULTADOS ANOVA

---

## 1. ANOVA entre a Fábrica SECIL-OUTÃO e as EMQA

Quadro 1 – **Descrição estatística** dos grupos/níveis estabelecidos para a ANOVA realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **Quinta da Murteira**.

Nível	N	Média	Desvio-Padrão	Erro Padrão	Intervalo de Confiança de 95% para a Média		Mínimo	Máximo
					Valor Inferior	Valor Superior		
SO <sub>2</sub>								
1	2	1,60483	0,552842	0,390918	-3,36225	6,57192	1,214	1,996
2	8	0,38862	0,270480	0,095629	0,16249	0,61475	0,009	0,745
3	43	0,84385	0,978036	0,149149	0,54285	1,14484	0,025	4,217
Total	53	0,80385	0,916979	0,125957	0,55110	1,05660	0,009	4,217
NOx								
1	1	6,55601	—	—	—	—	6,556	6,556
2	7	10,60188	4,262098	1,610922	6,66010	14,54366	4,939	15,510
3	38	14,84316	11,093415	1,799590	11,19684	18,48947	2,163	53,437
Total	46	14,01759	10,355460	1,526829	10,94240	17,09278	2,163	53,437
PM <sub>10</sub>								
1	1	18,26042	—	—	—	—	18,260	18,260
2	3	26,42708	11,027462	6,366708	-0,96665	53,82082	14,250	35,740
3	23	19,59593	17,235190	3,593786	12,14287	27,04898	6,094	80,542
Total	27	20,30548	16,298340	3,136617	13,85807	26,75289	6,094	80,542

Quadro 2 – **Resultados da ANOVA** realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **Quinta da Murteira**.

	Soma dos Quadrados	df	Média dos Quadrados	F	Sig.
<b>SO<sub>2</sub></b>					
Entre os grupos	2,731	2	1,366	1,666	0,199
Nos grupos	40,993	50	0,820		
<b>Total</b>	<b>43,724</b>	<b>52</b>			
<b>NOx</b>					
Entre os grupos	163,244	2	81,622	0,753	0,477
Nos grupos	4662,355	43	108,427		
<b>Total</b>	<b>4825,599</b>	<b>45</b>			
<b>PM<sub>10</sub></b>					
Entre os grupos	128,184	2	64,092	0,227	0,799
Nos grupos	6778,349	24	282,431		
<b>Total</b>	<b>6906,533</b>	<b>26</b>			

Quadro 3 – **Descrição estatística** dos grupos/níveis estabelecidos para a ANOVA realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **Hospital Ortopédico do Outão**.

Nível	N	Média	Desvio-Padrão	Erro Padrão	Intervalo de Confiança de 95% para a Média		Mínimo	Máximo
					Valor Inferior	Valor Superior		
SO <sub>2</sub>								
1	9	0,42178	0,453427	0,151142	0,07325	0,77032	0,000	1,254
2	41	1,15645	0,923594	0,144241	0,86493	1,44797	0,001	5,323
3	112	0,66973	0,806975	0,076252	0,51863	0,82083	0,000	2,915
Total	162	0,77914	0,850198	0,066798	0,64723	0,91105	0,000	5,323
NOx								
1	9	14,25908	7,893482	2,631161	8,19161	20,32655	7,172	27,521
2	41	15,24394	12,993069	2,029177	11,14282	19,34506	0,000	61,406
3	112	22,43314	38,390378	3,627550	15,24491	29,62137	0,000	217,737
Total	162	20,15954	32,754344	2,573424	15,07752	25,24156	0,000	217,737
PM <sub>10</sub>								
1	9	26,41667	24,711459	8,237153	7,42176	45,41158	7,250	90,000
2	41	19,71341	9,987580	1,559798	16,56095	22,86588	6,000	49,000
3	112	26,56027	18,818067	1,778140	23,03676	30,08377	0,000	126,250
Total	162	24,81944	17,554512	1,379213	22,09576	27,54312	0,000	126,250

Quadro 4 – **Resultados da ANOVA** realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **Hospital Ortopédico do Outão**.

	Soma dos Quadrados	df	Média dos Quadrados	F	Sig.
<b>SO<sub>2</sub></b>					
Entre os grupos	8,327	2	4,163	6,127	0,003
Nos grupos	108,050	159	0,680		
<b>Total</b>	116,377	161			
<b>NOx</b>					
Entre os grupos	1882,983	2	941,492	0,876	0,418
Nos grupos	170845,395	159	1074,499		
<b>Total</b>	172728,378	161			
<b>PM<sub>10</sub></b>					
Entre os grupos	1431,305	2	715,653	2,362	0,098
Nos grupos	48182,599	159	303,035		
<b>Total</b>	49613,904	161			

Quadro 5 – **Descrição estatística** dos grupos/níveis estabelecidos para a ANOVA realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **Troia**.

Nível	N	Média	Desvio-Padrão	Erro Padrão	Intervalo de Confiança de 95% para a Média		Mínimo	Máximo
					Valor Inferior	Valor Superior		
SO <sub>2</sub>								
1	13	10,69622	31,295222	8,679733	-8,21529	29,60773	0,503	114,784
2	19	11,35269	20,211265	4,636782	1,61117	21,09421	0,527	73,691
3	85	3,61828	8,986771	0,974752	1,67988	5,55668	0,242	79,337
Total	117	5,66073	15,309847	1,415396	2,85736	8,46410	0,242	114,784
NOx								
1	13	9,49476	4,187873	1,161507	6,96406	12,02547	3,698	16,744
2	20	11,69086	5,983387	1,337926	8,89054	14,49117	2,411	22,537
3	93	10,81603	5,294548	0,549019	9,72563	11,90643	2,527	31,765
Total	126	10,81857	5,297278	0,471919	9,88458	11,75255	2,411	31,765
PM <sub>10</sub>								
1	13	16,00481	6,473423	1,795405	12,09296	19,91666	6,531	27,687
2	20	13,20885	6,428024	1,437350	10,20045	16,21726	5,719	27,740
3	93	13,40895	6,508975	0,674949	12,06845	14,74946	3,135	34,750
Total	126	13,64502	6,491258	0,578287	12,50052	14,78952	3,135	34,750

Quadro 6 – **Resultados da ANOVA** realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **Troia**.

	Soma dos Quadrados	df	Média dos Quadrados	F	Sig.
<b>SO<sub>2</sub></b>					
<b>Entre os grupos</b>	1299,786	2	649,893	2,862	0,061
<b>Nos grupos</b>	25889,617	114	227,102		
<b>Total</b>	27189,403	116			
<b>NOx</b>					
<b>Entre os grupos</b>	38,000	2	19,000	0,674	0,512
<b>Nos grupos</b>	3469,643	123	28,208		
<b>Total</b>	3507,644	125			
<b>PM<sub>10</sub></b>					
<b>Entre os grupos</b>	81,379	2	40,690	0,965	0,384
<b>Nos grupos</b>	5185,675	123	42,160		
<b>Total</b>	5267,054	125			

Quadro 7 – **Descrição estatística** dos grupos/níveis estabelecidos para a ANOVA realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **S. Filipe**.

Nível	N	Média	Desvio-Padrão	Erro Padrão	Intervalo de Confiança de 95% para a Média		Mínimo	Máximo
					Valor Inferior	Valor Superior		
SO <sub>2</sub>								
1	14	2,03605	2,247618	0,600701	0,73831	3,33379	0,221	6,988
2	28	1,05309	1,866406	0,352717	0,32937	1,77680	0,129	9,733
3	147	1,58694	2,622881	0,216332	1,15939	2,01449	0,117	28,308
Total	189	1,54112	2,499513	0,181813	1,18246	1,89977	0,117	28,308
NOx								
1	13	12,54703	6,861289	1,902979	8,40079	16,69326	3,777	26,883
2	17	10,56203	5,814294	1,410174	7,57259	13,55146	2,200	23,381
3	148	11,32820	7,147248	0,587500	10,16716	12,48924	1,054	45,592
Total	178	11,34404	6,988406	0,523803	10,31034	12,37774	1,054	45,592

Quadro 8 – **Resultados da ANOVA** realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **S. Filipe**.

	Soma dos Quadrados	df	Média dos Quadrados	F	Sig.
<b>SO<sub>2</sub></b>					
Entre os grupos	10,407	2	5,203	0,831	0,437
Nos grupos	1164,135	186	6,259		
<b>Total</b>	1174,542	188			
<b>NOx</b>					
Entre os grupos	29,247	2	14,623	0,297	0,743
Nos grupos	8615,047	175	49,229		
<b>Total</b>	8644,293	177			

## 2. ANOVA entre a CTS e as EMQA

Quadro 9 – **Descrição estatística** dos grupos/níveis estabelecidos para a ANOVA realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **Troia**.

Nível	N	Média	Desvio-Padrão	Erro Padrão	Intervalo de Confiança de 95% para a Média		Minimo	Máximo
					Valor Inferior	Valor Superior		
SO <sub>2</sub>								
1	28	2,68178	1,275345	0,241018	2,18726	3,17631	0,571	4,956
2	17	2,92825	1,978743	0,479916	1,91087	3,94562	0,548	8,755
3	2	2,03432	0,681743	0,482065	-4,09090	8,15953	1,552	2,516
Total	47	2,74338	1,537361	0,224247	2,29199	3,19477	0,548	8,755
NOx								
1	34	21,83342	10,319813	1,769833	18,23266	25,43417	8,798	49,292
2	11	32,50178	11,458370	3,454828	24,80394	40,19962	14,757	46,689
3	2	34,74287	6,552118	4,633047	-24,12557	93,61131	30,110	39,376
Total	47	24,87961	11,439311	1,668595	21,52090	28,23831	8,798	49,292
PM <sub>10</sub>								
1	29	19,36887	6,855637	1,273060	16,76112	21,97661	7,135	33,625
2	13	17,84482	7,252123	2,011377	13,46240	22,22723	6,812	31,062
3	2	19,00521	0,228337	0,161458	16,95369	21,05673	18,844	19,167
Total	44	18,90205	6,765227	1,019896	16,84523	20,95887	6,812	33,625

Quadro 10 – **Resultados da ANOVA** realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **Troia**.

	Soma dos Quadrados	df	Média dos Quadrados	F	Sig.
<b>SO<sub>2</sub></b>					
Entre os grupos	1,693	2	0,846	0,348	0,708
Nos grupos	107,027	44	2,432		
Total	108,720	46			
<b>NOx</b>					
Entre os grupos	1149,136	2	574,568	5,191	0,009
Nos grupos	4870,324	44	110,689		
Total	6019,460	46			
<b>PM<sub>10</sub></b>					
Entre os grupos	20,872	2	10,436	0,220	0,804
Nos grupos	1947,165	41	47,492		
Total	1968,037	43			

Quadro 11 – **Descrição estatística** dos grupos/níveis estabelecidos para a ANOVA realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **S. Filipe**.

Nível	N	Média	Desvio-Padrão	Erro Padrão	Intervalo de Confiança de 95% para a Média		Mínimo	Máximo
					Valor Inferior	Valor Superior		
SO <sub>2</sub>								
1	45	1,02813	0,734843	0,109544	0,80736	1,24890	0,105	3,479
2	14	2,09856	2,342432	0,626041	0,74608	3,45104	0,300	8,175
3	3	1,19861	0,863097	0,498309	-0,94544	3,34266	0,629	2,192
Total	62	1,27809	1,335734	0,169638	0,93888	1,61730	0,105	8,175
NOx								
1	42	10,87562	4,721282	0,728510	9,40437	12,34688	2,900	22,883
2	14	14,25893	10,857514	2,901793	7,98999	20,52787	3,904	36,796
3	3	21,92639	16,066838	9,276193	-17,98585	61,83863	8,683	39,800
Total	59	12,24034	7,633228	0,993762	10,25111	14,22957	2,900	39,800

Quadro 12 – **Resultados da ANOVA** realizada aos valores médios diários de SO<sub>2</sub>, NOx e PM<sub>10</sub>, registados na estação **S. Filipe**.

	Soma dos Quadrados	df	Média dos Quadrados	F	Sig.
<b>SO<sub>2</sub></b>					
Entre os grupos	12,255	2	6,127	3,743	0,029
Nos grupos	96,580	59	1,637		
<b>Total</b>	108,835	61			
<b>NOx</b>					
Entre os grupos	416,728	2	208,364	3,938	0,025
Nos grupos	2962,710	56	52,906		
<b>Total</b>	3379,438	58			